

14 EL PAPEL DE LOS ARRECIFES CORALINOS EN EL FLUJO DE CARBONO EN EL OCÉANO: ESTUDIOS EN EL PACÍFICO MEXICANO

*L.E. Calderón-Aguilera, H. Reyes-Bonilla
y J.D. Carriquiry*

INTRODUCCIÓN

Los corales son organismos simbioses cuyo esqueleto está constituido de carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de aragonita, lo que les ha permitido convertirse en los principales constructores de estructuras arrecifales en las zonas tropicales del mundo (Veron 2000). La formación de los esqueletos, así como otras características como su densidad o tasa de crecimiento, dependen en buena medida de la temperatura del mar (que debe ser superior a 20° C) y de su alcalinidad, pues el CO_2 disuelto en el agua se precipita con más facilidad como carbonato en condiciones ligeramente más alcalinas y de mayor temperatura; la relación se invierte en zonas menos alcalinas y frías (Kleypas *et al.* 1999, Langdon *et al.* 2000, McNeil *et al.* 2004, Alvarez-Borrego, en este volumen).

El carácter sésil de los corales, su alta sensibilidad a 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 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 ocurrencia en el agua de mar. Lo anterior da lugar a que puedan usarse para analizar aspectos tan diversos como la

temperatura, la cantidad de lluvias o la productividad oceánica (Carriquiry *et al.* 1998, Gagan *et al.* 2000).

Un buen ejemplo de la utilidad de los corales para evidenciar cambios ambientales es su rápida respuesta al calentamiento del océano que resulta de la Oscilación Sureña El Niño (ENSO; Carriquiry *et al.* 1994). El estrés causado por estos eventos se traduce en “blanqueamientos”, fenómenos que han sido ampliamente estudiados (Hoegh-Guldberg 1999). El blanqueamiento es una respuesta fisiológica genérica de los corales arrecifales hacia las perturbaciones, y sucede ya sea por la pérdida de zooxantelas 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 2–10 pg de clorofila *a* por zooxantela; sin embargo, durante los fenómenos de blanqueamiento los corales pueden perder entre 60–90% de sus zooxantelas, y cada zooxantela pierde entre 50 y 80% de sus pigmentos fotosintéticos (Glynn 1996). Aunque se han dado varias hipótesis sobre las causas de su ocurrencia, todo indica que el blanqueamiento se presenta cuando las zooxantelas sufren daños en el fotosistema II (Iglesias-Prieto *et al.* 1992); dicho deterioro ocurre a nivel enzimático y en especial puede deberse a la ocurrencia de temperaturas elevadas en el agua de mar (Hoegh-Guldberg 1999). Las consecuencias del blanqueamiento son múltiples, pero particularmente ha llamado la atención la disminución severa en la capacidad de depósito de carbonatos, y el consecuente cese virtual del crecimiento arrecifal (Eakin 1996, Scott *et al.* 1988).

Luego de ENSO de 1982-83 los estudios mostraron que la mortalidad coralina en el Pacífico de Centroamérica fue tan elevada que hubo cambios dramáticos en la estructura y función de los sistemas arrecifales. Primero, los esqueletos coralinos fueron recubiertos de algas filamentosas y luego coralinas, lo que dificultó el reclutamiento posterior de los corales (Cortés 1997). El aumento notable de la biomasa algal permitió que las poblaciones de ciertos herbívoros (especialmente erizos de los géneros *Diadema* y *Eucidaris*) se incrementaran de menos de un individuo por metro cuadrado, a más de 10 ind m⁻² (Glynn 1990), lo que a su vez propició la elevación (en órdenes de magnitud) de la tasa de erosión del CaCO₃ que forma la estructura arrecifal. Asimismo, otros erosionadores (esponjas y bivalvos del género *Lithophaga*) y los depredadores de coral (el asteroideo *Acanthaster planci*, el pez *Arothron meleagris*) incrementaron su efecto negativo sobre las comunidades, ocasionando que la cobertura disminuyera hasta un 20% en la mayoría de los sitios y que las estructuras físicas quedaran en franco

colapso, dado que la tasa de erosión superó por mucho la de calcificación (Eakin 1996, Cortés 1997).

En la costa mexicana del Pacífico los arrecifes de coral se presentan en aguas someras (0 a 25 m de profundidad), desde el sur del Golfo de California hasta Oaxaca y las Islas Revillagigedo, generalmente construyendo estructuras de poco relieve (menos de 3 m de espesor; Reyes Bonilla 2003). Las condiciones ambientales para su crecimiento son desfavorables ya que la región presenta poca superficie de plataforma continental, temperaturas relativamente bajas (producto de múltiples zonas de surgencia y de la influencia de la Corriente de California), y es uno de los sitios con valores más bajos de pH superficial en el océano mundial (Kleypas *et al.* 1999). En el Golfo de California, el CaCO_3 se encuentra entre 150 y 200% saturado de aragonita (Gaxiola-Castro *et al.* 1978). Además de lo anterior, durante 1997 la costa oeste de México recibió la influencia de uno de los eventos de El Niño de mayor fuerza del siglo (Carrizuri *et al.* 2001), y el calentamiento de las aguas causó severa mortalidad coralina tanto en el Golfo de California como en el Pacífico tropical mexicano (Reyes-Bonilla *et al.* 2002). En la actualidad los arrecifes están en pleno proceso de recuperación (observaciones de los autores). A pesar de lo anterior, los sistemas de arrecifes coralinos de la costa occidental de México constituyen biomas de gran diversidad, proporcionan alimento y refugio a muchas especies marinas (incluyendo algunas de importancia comercial), y ofrecen variados servicios ambientales como protección a la zona costera y provisión de material de construcción (Reyes-Bonilla 2003). Es importante tener un buen conocimiento de la estructura arrecifal, así como de su función y su relevancia como potenciales indicadores de cambios ambientales en el océano. A partir de todas estas consideraciones, el objetivo de este trabajo fue estimar el papel de los arrecifes coralinos del Pacífico mexicano en el flujo de carbono, con base en la evaluación de la cantidad potencial de carbonato depositado en diversos arrecifes a lo largo de casi dos décadas. Estas cifras se generaron a partir de la tasa de crecimiento, la densidad del esqueleto y la cobertura de coral vivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las características de las localidades de estudio, así como las fuentes de los datos previos a 2002 se presentan en la tabla 1. Los valores de cobertura coralina se obtuvieron mediante transectos de banda de 25 m de largo por 1 m de ancho, tendidos de forma paralela a la costa y a la misma profundidad. Este método ha sido utilizado tradicionalmente en el estudio de las comuni-

dades coralinas del Pacífico mexicano debido a su eficiencia en la detección de especies poco abundantes. La producción potencial de CaCO_3 al año (Pn), esto es, la cantidad de CaCO_3 producido por unidad de área cubierta por una colonia de coral, fue calculada de la siguiente manera:

$$Pn = \bar{\delta} \times \bar{g} \text{ cobertura}$$

donde $\bar{\delta}$ = densidad media ponderada de las especies de coral presentes en el arrecife (en g de CaCO_3 por cm^3), \bar{g} es la tasa media de crecimiento anual de las especies de coral (en cm año^{-1}) y todo esto multiplicado por la cobertura de coral vivo en porcentaje (ver detalles del método, así como referencias de las densidades y tasas de crecimiento, en el trabajo de Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera 1999).

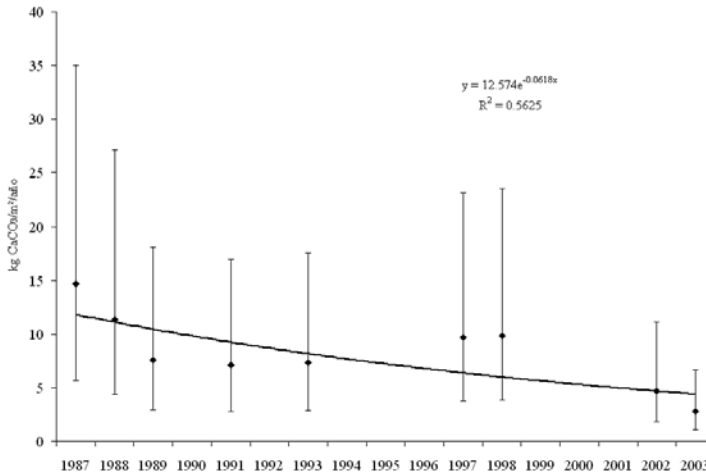
La tasa anual de depósito de carbonato se estima como el producto de Pn por la superficie arrecifal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cobertura de coral en Cabo Pulmo ha bajado drásticamente en los últimos años, de 62% en 1987 a 12% en 2003, debido a la conjunción de la mortalidad coralina causada por el blanqueamiento de 1997 y una serie de ciclones que han impactado la zona (Álvarez-Filip *et al.* 2006). En consecuencia, la producción potencial de CaCO_3 ha disminuido de $20.36 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en 1987, a sólo 3.84 en 2003 (fig. 1). Dichos valores están calculados considerando la máxima tasa de crecimiento de las principales especies de coral en el arrecife (datos en Reyes-Bonilla y Calderon-Aguilera 1999), por lo que la situación real podría ser aún peor. En resumen, las estimaciones indican que actualmente la producción de carbonatos en el arrecife de Cabo Pulmo es un 18% de la que había hace 20 años.

En el arrecife de La Entrega la situación es bastante parecida ya que la zona también sufrió mortalidades coralinas causadas por El Niño (Reyes-Bonilla *et al.* 2002); la cantidad bruta de carbonato depositado bajó de $28 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en 1997 a $15 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en 2003, esto es, a casi la mitad en siete años (fig. 2). Para los arrecifes de la costa de Jalisco no se dispone de series de registro tan largo y desconocemos la forma en la que el ENSO impactó el balance de carbonatos (aunque hay registros detallados de mortalidades de coral causadas por el evento de blanqueamiento; Carriquiry *et al.* 2001). Sin embargo, en años recientes la variación en la cantidad de carbonato depositado

Figura 1. Producción potencial de carbonato de calcio ($\text{kgCaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en Cabo Pulmo, BCS. Se indica el intervalo entre la producción mínima y máxima estimada en función de la tasa de crecimiento de los corales

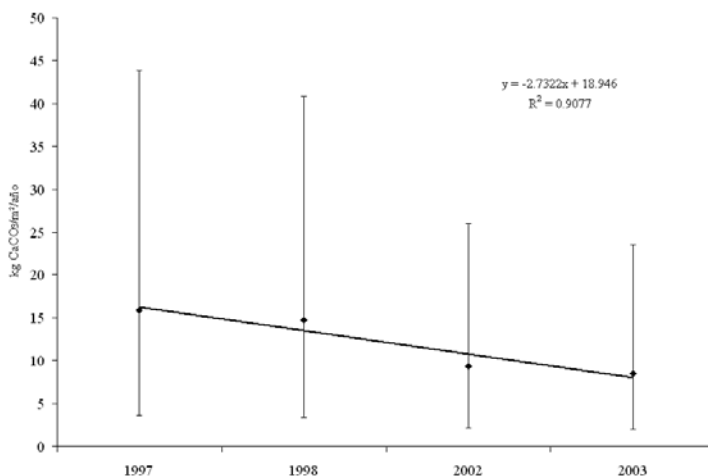


ha sido muy poca (tabla 1). En Chimo, Bahía de Banderas, la producción en 2002 y 2003 fluctuó alrededor de $2 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (fig. 3), mientras que en Tenacatita tampoco se aprecian cambios importantes en esos años. En

Tabla1. Localización, superficie (ha) y principales especies de coral de los sitios de estudio

Sitio	Localización	Superficie (ha)	Especies de coral	Fuente de datos
Cabo Pulmo, BCS	23°25' N 109°25' O	150.0	<i>Pocillopora</i> , <i>Porites</i> y <i>Pavona</i>	Reyes-Bonilla (1993)
Chimo, Jalisco	20°28'18"N 105°36'55"O	1.2	<i>Pocillopora</i> sp.	Este trabajo
Tenacatita, Jalisco	19°16'N 104°52'O	2.5	<i>Pocillopora</i> sp.	Este trabajo
La Entrega, Oaxaca	15°44'34"N 96°07'35"O	7.5	<i>Pocillopora</i> sp.	Leyte-Morales (2001)

Figura 2. Producción potencial de carbonato de calcio ($\text{kgCaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en La Entrega, Oaxaca. Se indica el intervalo entre la producción mínima y máxima estimada en función de la tasa de crecimiento de los corales



esta localidad se estima que la cantidad bruta de carbonato depositado por los corales ronda los $20 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (fig. 4), lo que lo hace el arrecife de más vigoroso crecimiento en el Pacífico de México.

En general puede decirse que para el Pacífico de México, la pérdida de cobertura viva de corales ha tenido como resultado una baja sensible en la producción de carbonatos a escala regional. Sin embargo, las causas de esta situación son más de origen natural que antropogénico. Entre ellas se puede incluir El Niño de 1997, pero también las perturbaciones causadas por huracanes y tormentas tropicales comunes entre mayo y octubre. En últimos años estos fenómenos atmosféricos han tenido graves efectos sobre los arrecifes de coral del Golfo de California; por ejemplo, en 1998 el huracán “Isis” prácticamente barrió las colonias del género *Pocillopora* en localidades al sur de La Paz, BCS (Lirman *et al.* 2001). Sin embargo, llama la atención que los arrecifes de Oaxaca han resultado ser muy resistentes a estas perturbaciones y aún cuando se presentaron varios ciclones en la zona durante un lapso corto de tiempo en 1997, las comunidades sufrieron sólo daños aislados (Glynn *et al.* 1998). Según Hoyos *et al.* (2006), la intensidad de los huracanes se ha incrementado en los últimos años debido al ascenso en la temperatura superficial del mar como

Figura 3. Producción potencial de carbonato de calcio ($\text{kgCaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en Chimo, Jalisco. Se indica el intervalo entre la producción mínima y máxima estimada en función de la tasa de crecimiento de los corales

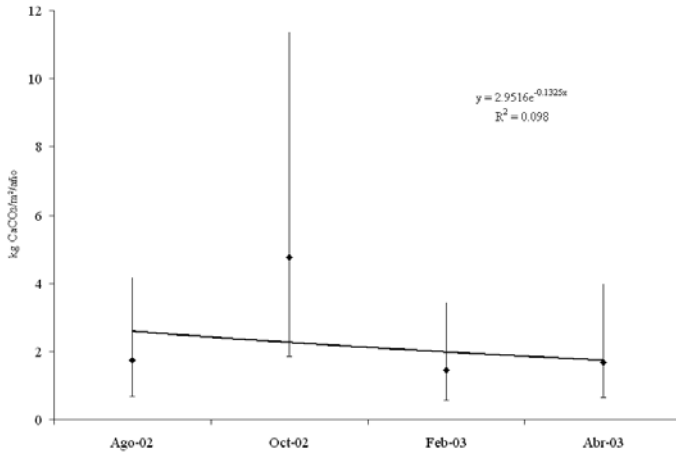
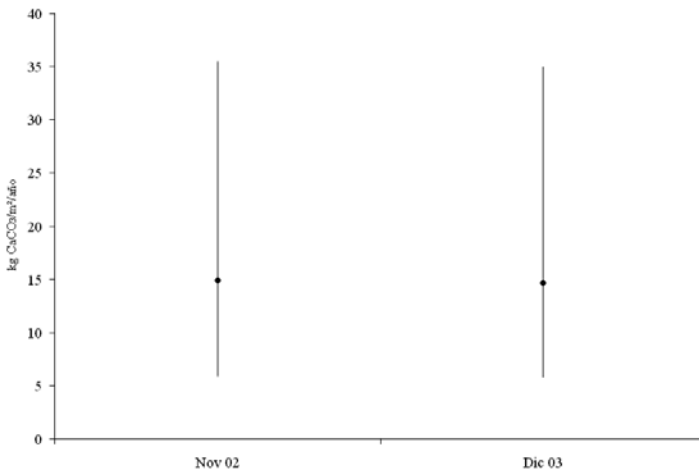


Figura 4. Producción potencial de carbonato de calcio ($\text{kgCaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en Tenacatita, Jalisco. Se indica el intervalo entre la producción mínima y máxima estimada en función de la tasa de crecimiento de los corales



consecuencia del cambio climático global. De continuar esta tendencia, los arrecifes coralinos del oeste de México podrían seguir perdiendo cobertura y por lo tanto también será más lenta su producción de carbonatos.

Otra causa natural de pérdida de carbonatos en arrecifes del Pacífico es la acción de los coralívoros y bioerosionadores, que incluyen moluscos, erizos, estrellas de mar y peces. Reyes-Bonilla y Calderon-Aguilera (1999) demostraron que dada la poca abundancia de estos organismos y la elevada tasa de producción de carbonatos en el arrecife de Cabo Pulmo, sus efectos eran prácticamente despreciables. Sin embargo, en la actualidad la situación a escala regional puede ser muy distinta ya que la cobertura de coral ha bajado mientras que las abundancias de las especies consumidoras y erosionadoras se ha mantenido (Alvarez-Filip y Reyes-Bonilla 2006). Este problema requiere mucho mayor análisis en el futuro.

Por lo que respecta a causas de pérdida coralina inducida por el hombre, la principal es el desarrollo costero y la consecuente modificación del uso del suelo, incremento en la descarga de aguas residuales, contaminación, sedimentación, y visitas excesivas y no controladas a los arrecifes coralinos (Ortiz-Lozano *et al.* 2005). Curiosamente, en el Pacífico mexicano la pesca en arrecifes coralinos se practica en pequeña escala y su efecto es muy localizado (Reyes-Bonilla 2003).

En la tabla 2 se presentan los valores estimados del depósito anual de carbonatos en los arrecifes de coral estudiados. Por su tamaño, Cabo Pulmo es la localidad donde ocurre la mayor producción de carbonato (del orden de 5,000 toneladas anuales por hectárea), mientras que en Chimo no llega a las 30 toneladas. Dado que el depósito depende de la producción potencial y ésta ha descendido sustancialmente, es impostergable emprender acciones eficientes para la protección de estos frágiles ecosistemas. A este respecto puede decirse también que aunque muchas zonas arrecifales están bajo algún régimen de protección federal o estatal, existen otras muy relevantes como Isla Espíritu Santo, BCS, Punta Mita, Nay., Carrizales, Col., o Zihuatanejo, Gro., que no reciben acciones de manejo en la actualidad (Bezaury-Creel 2004).

El aumento en la temperatura superficial del mar como consecuencia del cambio climático global, es reconocido como uno de los impactos de mayor influencia sobre los arrecifes de coral (Glynn 1996, Hoegh-Guldberg 1999). Se ha mencionado que, entre otros eventos, la elevación de temperatura modificará la distribución de muchas especies, aumentando o disminuyendo su ámbito geográfico latitudinal (Precht y Aronson 2004) y que puede haber cambios masivos en el tipo de zooxantela que se presenta en los océanos (Baker 2003).

Tabla 2. Cambios temporales en la depositación de carbonato de calcio (ton ha⁻¹ año⁻¹) en los principales arrecifes coralinos del Pacífico mexicano

Año	Cabo Pulmo		La Entrega		Chimo		Tenacatita	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
1987	13427	30540						
1988	10395	23644						
1989	6930	15763						
1990								
1991	6497	14777						
1992								
1993	6713	15270						
1994								
1995								
1996								
1997	8879	20196	915	2102				
1998	9009	20491	851	1956				
1999								
2000								
2001								
2002	4266	9704	543	1247	13	29	226	518
2002/10					35	80		
2003	2555	5812	491	1129	11	24	222	510
2003/02					12	28		

Sin embargo, los efectos de ese calentamiento sobre el depósito de carbonatos han sido muy discutidos. Algunos autores opinan que el cambio global aportará mayor cantidad de CO₂ a los océanos y ello se traducirá en la elevación de la densidad de los esqueletos (McNeil *et al.* 2004, 2005) Por el contrario, Kleypas *et al.* (1999) y Doney (2006), entre otros, opinan que ocurrirá lo contrario; es decir, que por efectos de retroalimentación la tasa de calcificación decrecerá exponencialmente, con efectos catastróficos para las comunidades. En este momento no se ha llegado a un acuerdo sobre este asunto, sin embargo, en cualquier caso el futuro depara cambios importantes en la tasa de producción de carbonato en arrecifes de coral, con consecuencias a escala mundial.

CONCLUSIONES

Debido a sus reducidas dimensiones, los arrecifes coralinos del Pacífico mexicano no son fuente ni sumidero de carbono de importancia en una

escala regional. Sin embargo, sí pueden considerarse como un ecosistema “bandera” indicador de cambios ambientales. Las series de datos analizadas en este estudio indican que la cobertura de coral ha disminuido drásticamente en los últimos años y, en consecuencia, la tasa de depósito de carbonato. Es necesario sostener una red de monitoreo para detectar cambios en la salud de los ecosistemas coralinos, que permita, dentro de lo posible, tomar medidas preventivas y de mitigación para evitar su deterioro. Asimismo, es prioritario incorporar tecnologías de punta tales como sensores remotos y oceanografía satelital, marcadores genéticos y biotecnología, para evaluar a diferentes escalas espaciales y temporales los cambios en las comunidades coralinas y, en consecuencia, su papel en el flujo de carbono en estos ecosistemas

AGRADECIMIENTOS

La información más reciente ha sido obtenida a partir de los proyectos “Distribución y aspectos taxonómicos de los corales arrecifales (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico mexicano” (Ref. CONACYT – SEMARNAT CO1-2002-0189; CONABIO AS007) y “Evaluación de los efectos de El Niño 1997-98 en arrecifes coralinos del Pacífico mexicano” (Ref. CONACYT 37528-B). Agradecemos muy especialmente la ayuda de nuestros colaboradores en estos proyectos: Amilcar Cupul, Pedro Medina, Gerardo Leyte, Dinorah Herrero, Andrés López y numerosos estudiantes y amigos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez-Borrego S. 2007 (en este volumen). Principios generales del ciclo del carbono en el océano. En: Hernández-de la Torre B, Gaxiola-Castro G (eds.), *Carbono en ecosistemas marinos de México*. INE, SEMARNAT, CICESE, México. Pp. 11-28.
- Álvarez-Filip L, Reyes-Bonilla H. 2006. Comparison of community structure and functional diversity of fishes of Cabo Pulmo coral reef, western Mexico between 1987 and 2003. En: Y. Suzuki (ed.) *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, Okinawa. Pp. 216–225.
- Álvarez-Filip L, Reyes-Bonilla H, Calderon-Aguilera LE. 2006. Community structure of fishes in Cabo Pulmo reef, Gulf of California. *Mar. Ecol.* 27: 253–262.
- Baker AC. 2003. Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: diversity, ecology and biogeography of Symbiodinium. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 34: 661–689.
- Bezaury-Creel J. 2004. Las Áreas Naturales Protegidas costeras y marinas de México. En: Rivera Arriaga, E, G.J. Villalobos, I. Azuz Adeath y F. Rosado May (eds.), *El*

- manejo costero en Mexico*. Universidad Autonoma de Campeche/ SEMARNAT/ CETYS/ UQRO, Ciudad del Carmen. Pp. 191–222.
- Brown, BE. 1997. Disturbances to reefs in recent times. In: C. Birkeland (ed.). *Life and death of coral reefs*. Chapman & Hall, New York. Pp. 354–379.
- Carriquiry JD, Risk MJ and Schwarcz HP. 1994. Stable isotope geochemistry of corals from Costa Rica as proxy indicator of El Niño (ENSO). *Geochim. Cosmochim. Acta* 58: 335–351.
- Carriquiry JD, Risk MJ and Schwarcz HP. 1988. Timing and Temperature Record from stable isotopes of the 1982–83 El Niño warming event in eastern Pacific corals. *PALAIOS*, v.3: 359–364.
- Carriquiry JD, Cupul Magaña A, Rodríguez Zaragoza F, y Medina Rosas P. 2001. Coral bleaching and mortality in the Mexican Pacific during the 1997–98 El Niño, and prediction from a remote sensing approach. *Bull. Mar. Sci.* 69: 237–249.
- Cortés J. 1997. Biology and geology of coral reefs of the eastern Pacific. *Coral Reefs* 16 (Suppl.): S39–S46
- Doney SC. 2006. The dangers of ocean acidification. *Sci. Am.* 249(3): 58–65.
- Eakin CM. 1996. Where have all the carbonates gone? A model comparison of calcium carbonate budgets before and after the 1982–1983 El Niño at Uva Island in the eastern Pacific. *Coral Reefs* 15: 109–119.
- Gagan MK, Ayliffe L., Beck JW, Cole JE, Druffel ERM., Dunbar RB y Schrag DP, 2000. New view of tropical paleoclimate from corals. *Quat. Sci. Rev.* 19: 45–64.
- Gaxiola-Castro G, Alvarez Borrego S, Schwartloze RA. 1978. El sistema de bióxido de carbono en el Golfo de California. *Cienc. Mar.* 5(2): 25–40.
- Glynn PW. 1990. Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical eastern Pacific. En: Glynn PW (ed.), *Global ecological consequences of the 1982–83 El Niño Southern Oscillation*. Elsevier Oceanographic Series 52, Amsterdam. Pp. 55–126.
- Glynn PW. 1996. Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. *Global Change Biol.* 2: 495–509.
- Glynn PW, Lirman D, Baker AC, Leyte-Morales GE. 1998. First documented hurricane strikes on eastern Pacific coral reefs reveal only slight damage. *Coral Reefs* 17: 368.
- Hoegh-Guldberg O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar. Freshwat. Res.* 50(8): 839–866.
- Hoyos CD, Agudelo PA, Webster PJ, Curry JA. 2006. Deconvolution of the Factors Contributing to the Increase in Global Hurricane Intensity. Science, Published Online March 16, 2006 (10.1126/science.1123560).
- Iglesias-Prieto R, Matta JL, Robbins WA, Trench RK. 1992. Photosynthetic response

- to elevated temperature in the symbiotic dinoflagellate *Symbiodinium microadriaticum* in culture. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 89: 302–305.
- Karlson RH (1999) *Dynamics of coral communities*. Kluwer, Amsterdam.
- Kleypas JA, Buddemeier RW, Archer D, Gattuso JP, Langdon C, Opdyke BN. (1999). Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on Coral Reefs. *Science* 284 (5411): 118–120.
- Langdon C, Takahashi T, Sweeney C, Chipman D, Goddard J, Marubini F, Aceves H, Barnett H, Atkinson MJ. 2000. Effect of calcium carbonate saturation state on the calcification rate of an experimental coral reef. *Global Biogeochem. Cycles* 14: 639–654.
- Leyte-Morales, GE. 2001. Estructura de la comunidad de corales y características geomorfológicas de los arrecifes coralinos de bahías de Huatulco, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. UMAR. 94 pp.
- Lirman D, Glynn PW, Baker AC, Leyte Morales GE. 2001. Combined effects of three sequential storms on the Huatulco coral reef tract. *Bull. Mar. Sci.* 69: 267–278.
- McNeil BI, Matear RJ, Barnes DJ. 2004. Coral reef calcification and climate change: The effect of ocean warming. *Geophys. Res. Lett.* 31: 10.1029/2004GL021541.
- McNeil, BI, Matear, RJ, Barnes DJ. 2005. Reply to comments by Kleypas *et al.* *Geophysical Research Letters* 32: 10.1029/2005GL022604, 2005.
- Ortiz-Lozano LA, Granados-Barba A, Solís-Weiss V, García Salgado MA. 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean Coast. Manage.* 48: 161–176.
- Precht, WF, Aronson RB. 2004. Climate flickers and range shifts of reef corals. *Frontiers of Ecology and the Environment* 6: 307–314.
- Reyes Bonilla, H. 1993. Estructura de la comunidad, influencia de la depredación y biología poblacional de corales hermatípicos en el arrecife de Cabo Pulmo, BCS. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y Enseñanza Superior de Ensenada. 169 pp.
- 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.
- Reyes-Bonilla H, Calderon-Aguilera LE. 1999. Population density, distribution and consumption rates of three corallivores at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico. *Mar. Ecol.* 20: 347–35.
- Reyes-Bonilla H, Carriquiry JD, Leyte-Morales GE, Cupul-Magana A. 2002. Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the Anti-El Niño event (1997-1998) on coral reefs of the western coast of México. *Coral Reefs* 21: 368–372.
- Scott PJB, Risk MJ and Carriquiry JD, 1988, El Niño, bioerosion and survival of Eastern Pacific coral reefs. *Proc. Int. Coral Reef Symp.*, Vol. 2: 517–520. Australia.
- Veron JEN. 2000. *Corals of the World*. AIMS, Australia, Vol.1. 469 pp.