

# BASE DE DATOS DE ALMACENES DE CARBONATO DE CALCIO EN ARRECIFES CORALINOS DE MEXICO

## DATABASE OF CALCIUM CARBONATE STOCKS IN CORAL REEFS OF MEXICO

Carlos Orión Norzagaray-López<sup>1</sup>, Luis Eduardo Calderón-Aguilera<sup>2†</sup> Lorenzo Álvarez-Filip<sup>3</sup>, Linda M. Barranco-Servin<sup>1</sup>, Rafael A. Cabral-Tena<sup>2</sup>, Juan P. Carricart-Ganivet<sup>3</sup>, Amilcar Cupul-Magaña<sup>4</sup>, Guillermo Horta-Puga<sup>5</sup>, Andrés López-Pérez<sup>6</sup>, Horacio Pérez-España<sup>7</sup>, Héctor Reyes-Bonilla<sup>8</sup>, Alma Paola Rodríguez-Troncoso<sup>4</sup> y J. J. Adolfo Tortolero-Langarica<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, México.

<sup>3</sup>Unidad Académica de Sistemas Arrecifales en Puerto Morelos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Puerto Morelos, Q. Roo, México.

<sup>4</sup>Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

<sup>5</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UBIPRO. Tlalnepanitla, México, México.

<sup>6</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México.

<sup>7</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

<sup>8</sup>Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>9</sup>Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas, Tecnológico Nacional de México, Bahía de Banderas, Nayarit, México.

†Autor para correspondencia: leca@cicese.mx

### RESUMEN

Los arrecifes coralinos son almacenes de carbono en el medio marino. México cuenta con estos valiosos ecosistemas en ambos litorales, pero las características fisiográficas, extensión espacial y composición de especies son muy distintas; por ejemplo, entre los que se encuentran en el Golfo de México y Mar Caribe (GM-MC) y, los del Pacífico (OP). En esta base de datos se compilaron datos de parámetros de crecimiento, como la extensión lineal, densidad esqueletal, tasa de calcificación y producción potencial de 11 especies de corales escleractíneos del GM-MC y 9 especies del OP. Se encontraron diferentes estudios con parámetros de crecimiento (20 artículos indizados, nueve bases de datos inéditas y dos tesis de posgrado). Se encontraron más estudios sobre los arrecifes coralinos del Golfo de México y Mar Caribe (17) que del Pacífico (12). Con el fin de tener una idea de la cantidad de carbono (en forma de carbonato de calcio), se estimó el área de 14 arrecifes del GM-MC (668 km<sup>2</sup>) y 15 en el OP (3.5 km<sup>2</sup>).

**Palabras clave:** carbonato de calcio; tasa de crecimiento; tasa de calcificación; densidad esqueletal; producción potencial de carbonato.

### ABSTRACT

Coral reefs are carbon stock in the marine realm. Mexico harbours this valuable ecosystem on both littorals, but the physiography, spatial extension and species composition are sharply different between those in the Gulf of Mexico and the Caribbean (GM-MC) and those in the Pacific littoral (OP). We compiled a database from published and unpublished sources of coral growth rate, skeletal density, calcification rate and potential production of 11 species of scleractinian corals from the GM-MC and nine species from the Pacific. We found different studies (20 articles, nine unpublished databases and two graduate theses). There are more studies of coral reefs in the GM-MC (17) than in the Pacific (12). To have a gross idea of how much carbon is stored (as calcium carbonate), we estimated the area of 14 coral reefs from the GM-MC (668 km<sup>2</sup>) and 15 from the OP (3.5 km<sup>2</sup>).

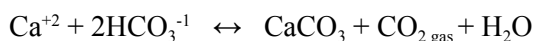
**Keywords:** Calcium carbonate; growth rate; calcification rate; skeletal density; carbonate potential production.

## INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son ecosistemas con una alta riqueza biológica, por lo que prestan importantes bienes y servicios ambientales (Veron, 2000; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014c), entre los que destacan su participación en los ciclos biogeoquímicos a escala global, el cultivo de peces y protección de la costa, además de que proveen material para la formación de playas (Moberg y Folk, 1999; Barbier *et al.*, 2011; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014c). Los sistemas arrecifales constituyen una pieza importante dentro del ciclo del carbono en los ecosistemas costeros, debido a que producen una gran cantidad de dos formas de carbono: 1) materia orgánica; la cual es susceptible de transferirse a distintos niveles de la red trófica y de transportarse, junto con los nutrientes, dentro y fuera de estos ecosistemas (Reyes-Bonilla *et al.*, 2014a) y 2) carbonato de calcio, formado a partir de la gran cantidad de carbono que los organismos calcificadores extraen de la columna de agua para formar sus esqueletos (Figura 1; Calderón-Aguilera *et al.*, 2007; Álvarez-Filip *et al.*, 2013; Norzagaray *et al.*, 2015); estos organismos, producen cerca del 50% del CaCO<sub>3</sub> de las aguas superficiales, con una tasa anual alrededor de 0.8 Pg (Vecsei, 2004).

En estos ambientes existen muchos taxa de organismos calcificadores, pero son los corales y las algas coralinas los que aportan la mayor cantidad del CaCO<sub>3</sub> necesario para la formación y mantenimiento de la estructura arrecifal, es decir de la estructura tridimensional, en donde ocurren numerosos procesos ecológicos. Las estructuras arrecifales son producto del crecimiento continuo de la comunidad calcificadora, la cual mantiene las tasas de acreción mayores a las de disolución y bioerosión (Chave *et al.*, 1972).

De manera general, la ecuación propuesta para la calcificación indica que este proceso metabólico produce CO<sub>2</sub> gas (Smith, 2013):



Por lo cual, en conjunto con la respiración de la comunidad, definen la magnitud de los flujos de CO<sub>2</sub> gas hacia la atmósfera en los ecosistemas coralinos (Tribble, 1993; Smith, 2013; Andersson *et al.*, 2014; Andersson, 2015). Sin embargo, debido a que múltiples taxa precipitan activamente CaCO<sub>3</sub> para la formación de sus estructuras (*i.e.* grupos de corales, bivalvos, foraminíferos bentónicos, poliquetos, algas coralinas, esponjas calcáreas, entre otros), se presenta un flujo

de carbono en forma de estructuras carbonatadas, que forma parte de un reservorio de CaCO<sub>3</sub> (Figura 1), en donde el material calcáreo permanece por un tiempo determinado, que depende de la historia de vida de cada taxón.

El CaCO<sub>3</sub> biogénico acumulado en el reservorio de organismos vivos, paulatinamente pasa a formar parte de los sedimentos debido a procesos de degradación, como la erosión y bioerosión (Alvarado *et al.*, 2014), lo que da lugar a un segundo reservorio (Figura 1). En éste, el CaCO<sub>3</sub> biogénico puede seguir tres rutas posibles: 1) acumularse en los sedimentos y formar una matriz carbonatada, 2) ser transportado fuera del arrecife por corrientes, tormentas o escorrentías de ríos (Riegl *et al.*, 2007; Morgan, 2014), o bien, 3) disolverse debido a la disminución del estado de saturación de aragonita, promovido por procesos de degradación de la materia orgánica en los sedimentos, que reincorpora elementos del carbono inorgánico a la columna de agua (Figura 1; Tribble, 1993; Allemand *et al.*, 2011; Smith, 2013; Morgan, 2014; Andersson, 2015).

En el balance de CaCO<sub>3</sub> se deben incluir tanto las entradas por los diferentes taxa calcificadores (CaCO<sub>3</sub> biogénico), como aquellas provenientes de procesos inorgánicos (precipitación inorgánica de CaCO<sub>3</sub> en forma de cementantes), es decir, la producción potencial y bruta, respectivamente (Chave *et al.*, 1972; Calderón-Aguilera *et al.*, 2007; Morgan, 2014). La producción neta de CaCO<sub>3</sub> se refiere a la producción bruta de un arrecife, después de restarle las pérdidas por disolución, erosión y bioerosión. En los arrecifes coralinos se considera que la principal entrada de CaCO<sub>3</sub> es la producción por corales, por lo tanto, la cantidad total de CaCO<sub>3</sub> que se produce es función de: 1) la abundancia de organismos calcificadores, 2) la superficie total que ocupan dichos organismos y, 3) la tasa de producción de CaCO<sub>3</sub> de cada taxón (Chave *et al.*, 1972).

La cuantificación de la producción de CaCO<sub>3</sub> por corales precisa de conocer ciertos parámetros de crecimiento de las especies presentes, tales como: densidad esqueletal, tasa de crecimiento y tasa de calcificación. La densidad esqueletal es una medida de la cantidad de material acumulado en los esqueletos de una colonia (g CaCO<sub>3</sub> cm<sup>-3</sup>); la extensión esqueletal se expresa como la medida del crecimiento anual de las colonias (cm año<sup>-1</sup>) y, la tasa de calcificación (g CaCO<sub>3</sub> cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>), constituye una medida de la cantidad anual del material calcáreo que produce el coral por unidad de área y, corresponde al producto de la extensión, por la densidad esqueletal.

A la fecha, se han realizado estudios sobre producción de carbonato a distintas escalas espaciales, por ejemplo, a escala de arrecife (Chave *et al.*, 1972; Hubbard *et al.*, 1990; Hart y Kench, 2007; Shi *et al.*, 2008; Perry *et al.*, 2012; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014a), a escala regional (Vecsei, 2001; Calderón-Aguilera *et al.*, 2007; Perry *et al.*, 2012 y, a escala global (Kleypas *et al.*, 1999; Jones *et al.*, 2015). Los resultados reportados se basan en múltiples generalizaciones y supuestos, debido a la complejidad o insuficiencia de información relacionada con las tasas de crecimiento de las especies, cobertura de coral, o dimensiones de los arrecifes.

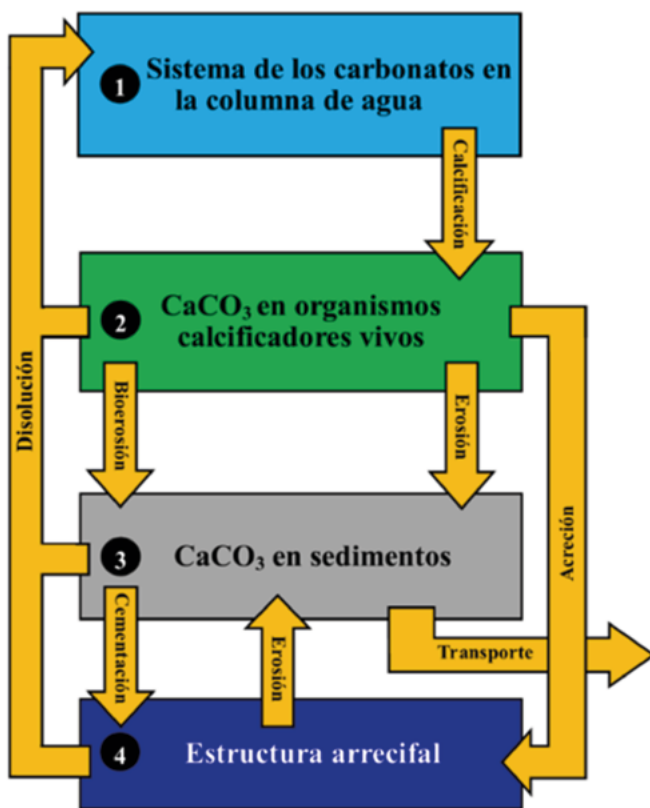
que, a la fecha, constituyen una amenaza para los arrecifes coralinos a escala global (IPCC, 2013).

La base de datos que se discute en el presente documento, es una compilación de diversas fuentes de información sobre estudios realizados en México, respecto a cobertura de coral, parámetros de crecimiento, área que ocupan estos ecosistemas, entre otros, con base en lo publicado tanto en artículos científicos, como en literatura gris (tesis, informes) y bases de datos inéditas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estructura de la base de datos

La tasa de calcificación ( $T_{cal}$ ) de los corales escleractinios depende de su tasa de crecimiento ( $T_{rec}$ , también llamada tasa de extensión, que se expresa en  $cm\ a\ ño^{-1}$ ) y de la densidad esquelética ( $DE$ ,  $g\ cm^{-3}$ ). La producción potencial ( $PP$ ) de carbonato de calcio es igual a la tasa de calcificación, multiplicada por la cobertura de coral; esta última, evaluada mediante censos biológicos. Por lo tanto, un primer paso para el análisis de estos ecosistemas fue obtener información sobre estimaciones de parámetros de crecimiento a nivel de especie (tasas anuales de crecimiento, densidad esquelética y tasa anual de calcificación), así como sobre el porcentaje de cobertura y el área arrecifal que representa. Debido a que no todas las publicaciones contenían información de las variables mencionadas, el número de datos fue distinto para cada caso. Las publicaciones encontradas se clasificaron por tipo: artículos científicos, bases de datos inéditas y tesis de posgrado. En el Cuadro 1 se presentan los metadatos de la base.



#### arrecifes de coral.

Las cajas representan reservorios y las flechas los flujos de  $CaCO_3$  entre reservorios.

Cuantificar los flujos y reservorios de  $CaCO_3$  en los arrecifes es un tema relevante en el contexto global, por dos razones: a) permite evaluar el aporte de estos ecosistemas al ciclo del carbono global y b) ayuda a conocer cómo responderían estos ambientes frente a factores forzantes, como el cambio global y la acidificación. El conocer el estado actual de los elementos del balance, permitiría contar con valores para predecir la respuesta del ecosistema a procesos

**Cuadro 1. Variables registradas en la base de datos de parámetros de crecimiento de coral. Se muestran los campos y la definición de cada especie.**

Campo	Definición
Género	Género
Especie	Especie
No. Escrito/Base de datos	Número consecutivo de captura de los datos de la publicación
Título	Título de la publicación
Autores	Primer autor, como referencia
Año	Año de publicación
Fuente	Tipo de material: Artículo científico, resumen de conferencia, tesis, etc.
Esclerocronología	Si reportan que dataron el crecimiento usando las bandas
Periodo Esclerocronología	Periodo en años, o solo el valor anual
Método	Método para análisis de la densitometría y el crecimiento
Sitio	Nombre del lugar de colecta
Código Sitio	Código del sitio
Densidad esqueletal	$g\ cm^{-3} \pm 1$ desviación estándar
Extensión lineal	$cm\ año^{-1} \pm 1$ desviación estándar
Tasa de calcificación	$g\ cm^{-2}\ año^{-1} \pm 1$ desviación estándar
No. de colonias	Número de colonias incluidas en el cálculo de parámetros de crecimiento
No. de bandas	Número de bandas incluidas en el cálculo de parámetros de crecimiento
Morfotipo	Morfotipo del coral estudiado

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a la búsqueda de información sobre parámetros de crecimiento, se encontraron 31 bases de datos, de las cuales 20 son artículos, 9 bases de datos inéditas y 2 tesis de posgrado (Cuadro 2). Los arrecifes coralinos del Golfo de México y Mar Caribe han sido más estudiados que los del Pacífico (17 y

12 publicaciones, respectivamente). En la Figura 2 se observa que *Montastrea* y *Porites* son los géneros de coral más estudiados en México (13 y 15 bases de datos entre artículos, bases de datos inéditas y tesis de posgrado, respectivamente). En las Figuras 3 y 4 se muestran los valores promedio de calcificación obtenidos por especie, por litoral.

**Cuadro 2. Publicaciones y bases de datos sobre parámetros de crecimiento de coral incluidas en la revisión.**

Autor	Año	Fuente	Título
Reyes-Bonilla	1993	Tesis de maestría (CICESE)	Distribución, riqueza específica, aspectos biogeográficos y taxonómicos de los corales hermatípicos del Golfo de California.
Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera	1994	Rev. Biol. Trop.	Parámetros poblacionales de <i>Porites panamensis</i> (Anthozoa: Scleractinia), en el arrecife de Cabo Pulmo, México.

Continuación Cuadro 2...

Autor	Año	Fuente	Título
Lara y Padilla	1996	Hidrobiológica	Efecto del tamaño de las colonias en el crecimiento de <i>Acropora palmata</i> en Puerto Morelos, Quintana Roo, México.
Carricart-Ganivet <i>et al.</i>	2000	Inédita.	Base de datos personal.
Carricart-Ganivet y Merino	2001	Inédita.	Base de datos personal.
Cruz-Piñón <i>et al.</i>	2003	Mar Biol	Monthly skeletal extension rates of the hermatypic corals <i>Montastraea annularis</i> and <i>Montastraea faveolata</i> , Biological and environmental controls.
Carricart-Ganivet	2004	JEMBE	Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral <i>Montastraea annularis</i> .
Halfar <i>et al.</i>	2005	Coral Reefs	Living on the edge: high-latitude <i>Porites</i> carbonate production under temperate eutrophic conditions.
Horta-Puga y Carriquiry	2008	Cienc Mar	Growth of the hermatypic coral <i>Montastraea cavernosa</i> in the Veracruz Reef System.
Elizalde-Rendón <i>et al.</i>	2010	Coral Reefs	Growth characteristics of the reef-building coral <i>Porites astreoides</i> under different environmental conditions in the Western Atlantic.
Carricart-Ganivet	2011	JEMBE	Coral skeletal extension rate: An environmental signal or a subject to inaccuracies?
Carricart-Ganivet <i>et al.</i>	2011	Inédita	Base de datos personal.
Carricart-Ganivet <i>et al.</i>	2012	Inédita	Base de datos personal.
Álvarez-Filip <i>et al.</i>	2013	Scientific Reports	Shifts in coral-assemblage composition do not ensure persistence of reef functionality.
Cabral-Tena <i>et al.</i>	2013	MEPS	Different calcification rates in males and females of the coral <i>Porites panamensis</i> in the Gulf of California.
Carricart-Ganivet <i>et al.</i>	2013	Coral Reefs	Gender-related differences in the apparent timing of skeletal density bands in the reef-building coral <i>Siderastrea siderea</i> .
Carricart-Ganivet <i>et al.</i>	2012	PlosOne	Sensitivity of calcification to thermal stress varies among genera of massive reef-building corals.
Mozqueda-Torres	2014	Tesis de maestría (CICESE)	Tasa de calcificación y densidad esquelética entre sexos de <i>Montastraea cavernosa</i> .
Norzagaray-López <i>et al.</i>	2015	Mar Ecol	Low calcification rates and calcium carbonate production in <i>Porites panamensis</i> at its northernmost geographic distribution.
Tortolero-Langarica <i>et al.</i>	2016	JEMBE	Skeletal extension, density and calcification rates of massive free-living coral <i>Porites lobata</i> Dana, 1846.
Medellín-Maldonado <i>et al.</i>	2016	Cien Mar	Calcification of the main reef-building coral species on the Pacific coast of southern Mexico.

Autor	Año	Fuente	Título
Tortolero-Langarica <i>et al.</i>	2016	Front Mar Sci	Differences in growth and calcification rates in the reef-building coral <i>Porites lobata</i> , the implications of morphotype and gender on coral growth.
Norzagaray-López <i>et al.</i>	2017	Facies	Skeletal dissolution kinetics and mechanical tests in response to morphology among coral genera.
Tortolero-Langarica <i>et al.</i>	2017	MERE	Historical insights on growth rates of the reef-building corals <i>Pavona gigantea</i> and <i>Porites panamensis</i> from the Northeastern tropical Pacific.
Tortolero-Langarica <i>et al.</i>	2017	PeerJ	Calcification and growth rate recovery of the reef-building <i>Pocillopora</i> species in the northeast tropical Pacific following an ENSO disturbance.
Chavez <i>et al.</i>	2018	Inédita	Base de datos personal.
Cruz <i>et al.</i>	2018	Inédita	Base de datos personal.
Iglesias-Prieto <i>et al.</i>	2018	Inédita	Base de datos personal.
Tortolero-Langarica <i>et al.</i>	2018	Inédita	Base de datos personal.
Tortolero-Langarica <i>et al.</i>	2018	Inédita	Base de datos personal.

Se muestra el autor(es), año de publicación (para el caso de bases de datos inéditas el año de integración de los datos), tipo de fuente de los datos (los artículos se muestran sombreados) y título del estudio.

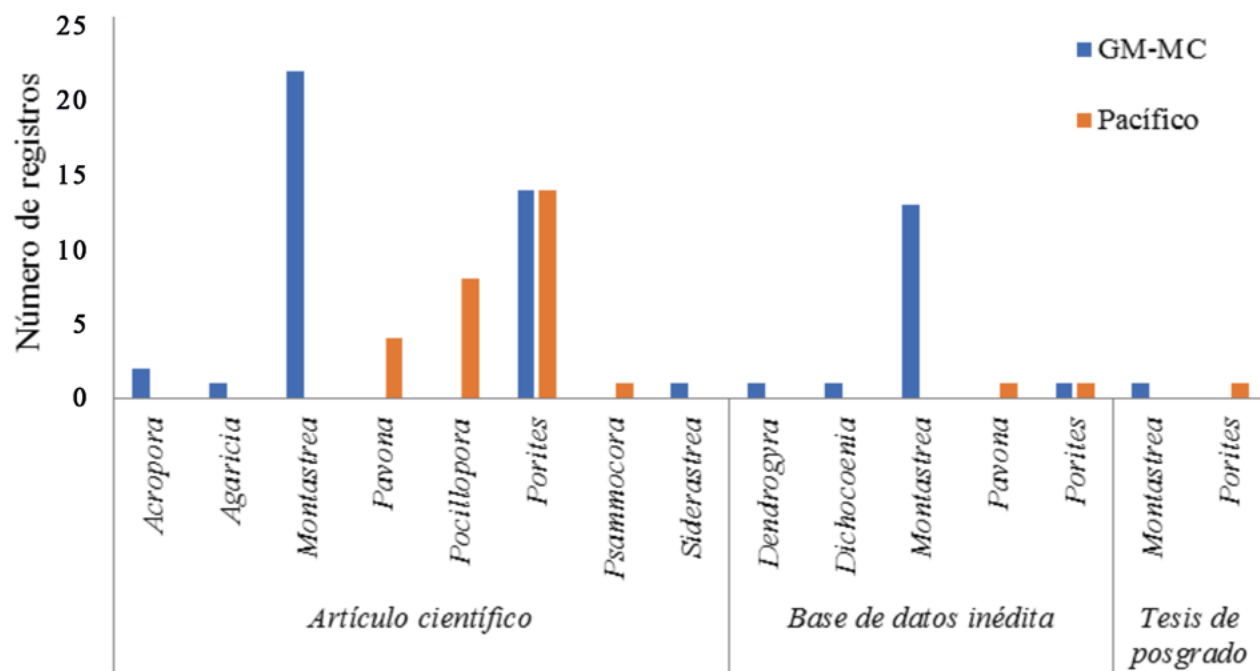
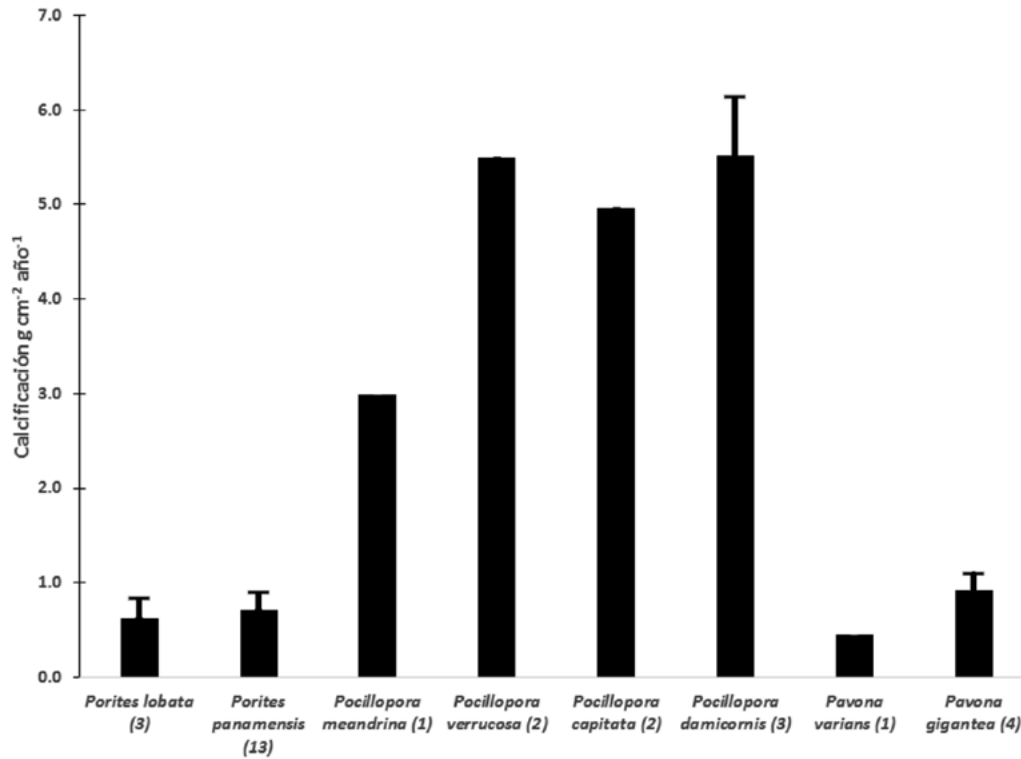
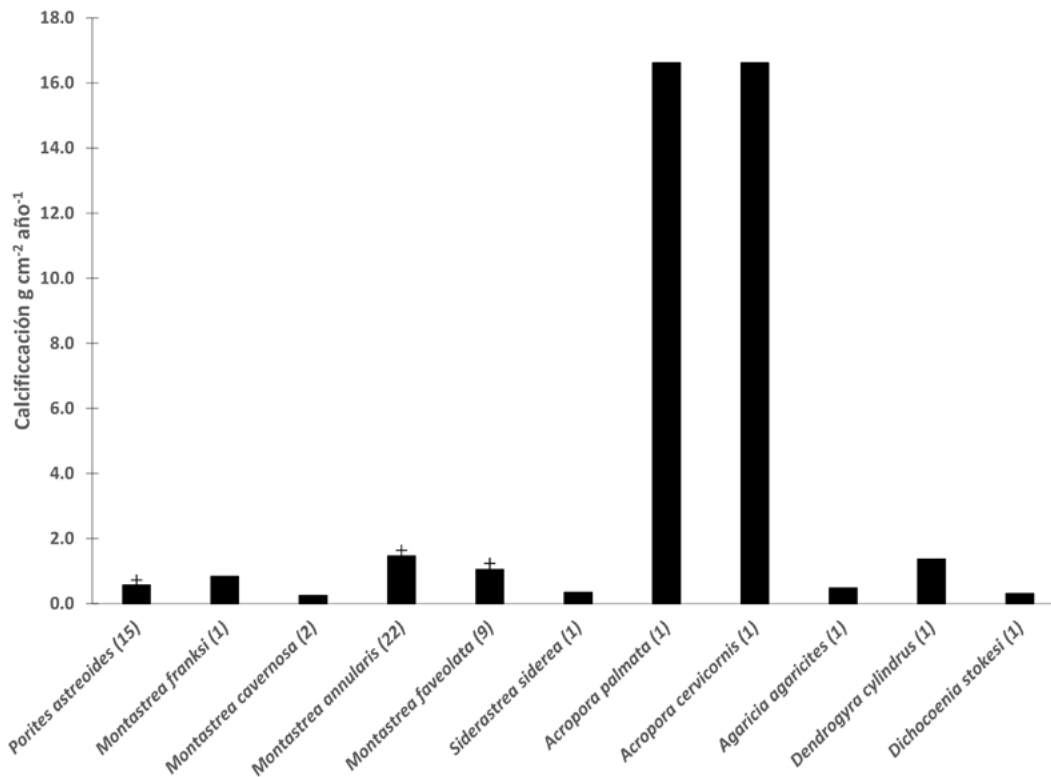


Figura 2. Número de registros de datos de parámetros de crecimiento (densidad esquelética, tasa anual de crecimiento y/o tasa anual de calcificación) por género de coral, tipo de fuente y litoral.



**Figura 3. Calcificación promedio ( $\pm 1$  desviación estándar) de las principales especies de corales del Pacífico mexicano.**  
El número entre paréntesis indica los valores incluidos en el cálculo.



**Figura 4. Calcificación promedio ( $\pm 1$  desviación estándar) de las principales especies de corales del Golfo de México y Mar Caribe.**  
El número entre paréntesis indica los valores incluidos en el cálculo.

Con respecto a la cobertura de coral, los censos biológicos en los arrecifes arrojan información sobre la abundancia de coral en un sitio y un momento determinado. La búsqueda de información arrojó 44 bases de datos obtenidas de 40 artículos científicos, un informe técnico, una nota de divulgación y dos bases de datos inéditas (Cuadro 3). Estos registros incluyen tres listados faunísticos y 41 estimaciones de abundancia de

coral. En los Cuadros 4 y 5 se muestran las principales especies de coral para el Pacífico Mexicano y Golfo de México-Mar Caribe, respectivamente. A partir de este listado se seleccionaron las bases de datos de 32 sitios, los cuales incluyeron poblaciones monoespecíficas de coral, comunidades coralinas o arrecifes coralinos (Cuadro 6; Figura 5).

**Cuadro 3. Publicaciones y bases de datos sobre cobertura de coral incluidas en el estudio.**

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Sitio</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
Aguilar-Medrano y Calderón-Aguilera	2015	Redundancy and diversity of functional reef fish groups of the Mexican Eastern Pacific	Cabo Pulmo	Artículo
Álvarez-Filip <i>et al.</i>	2009	Impact of hurricanes Emily and Wilma on the coral community of Cozumel Island, Mexico	Cozumel	Artículo
Barranco-Servín <i>et al.</i>	2016	Spatiotemporal variations of live coral cover in the northern Mesoamerican Reef System, Yucatan Peninsula, Mexico	Cozumel	Artículo
Carricart-Ganivet y Reyes-Bonilla	1999	New and Previous Records of Scleractinian Corals from Clipperton Atoll, Eastern Pacific	Clipperton	Artículo
Carriquiry y Reyes-Bonilla	1997	Estructura de la comunidad y distribución geográfica de los arrecifes coralinos de Nayarit, Pacífico de México	Costas de Nayarit	Artículo
Cupul-Magaña <i>et al.</i>	2016	Resultados de monitoreo de IM en 2016	Islas Marietas	Base de datos
Glynn y Leyte-Morales	1997	Coral reefs of Huatulco, West México: reef development in upwelling Gulf of Tehuantepec	Huatulco	Artículo
Halfar <i>et al.</i>	2005	Living on the edge: high-latitude <i>Porites</i> carbonate production under temperate eutrophic conditions	Bahía de los Angeles	Artículo
Ketchum y Reyes-Bonilla	2001	Taxonomía y distribución de los corales hermatípicos (Scleractinia) del Archipiélago de Revillagigedo, México	Isla Revillagigedo	Artículo



Continuación Cuadro 3...

Autor	Año	Título	Sitio	Tipo de Fuente
López-Pérez <i>et al.</i>	2015	The coral communities of the Islas Marias archipelago, Mexico: structure and biogeographic relevance to the Eastern Pacific	Islas Marías	Artículo
López-Pérez <i>et al.</i>	2012	Coral communities and reefs from Guerrero, Southern Mexican Pacific	Manzanillo, Ixtapa-Zihuatanejo	Artículo
López-Pérez y Hernández-Ballesteros	2004	Coral community structure and dynamics in the Huatulco area, Western Mexico	La Entrega	Artículo
Medina-Rosas	2006	Los corales hermatípicos de Mazatlán, Sinaloa, México	Isla Venado	Nota
Norzagaray-López <i>et al.</i>	2017	Aragonite saturation and pH variation in a fringing reef are strongly influenced by oceanic conditions	Cabo Pulmo	Artículo
Pérez-Vivar <i>et al.</i>	2006	Corales pétreos (Scleractinia) de las Islas Marías, Pacífico de México	Islas Marías	Artículo
Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera	1999	Population Density, Distribution and Consumption Rates of Three Corallivores at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico	Cabo Pulmo	Artículo
Reyes-Bonilla <i>et al.</i>	2005	Atlas de Corales Pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico Mexicano.	Pacífico mexicano	Base de datos
Reyes-Bonilla <i>et al.</i>	2013	Estructura comunitaria de corales zooxantelados (Anthozoa: Scleractinia) en el arrecife coralino de Carrizales, Pacífico mexicano	Carrizales	Artículo
Reyes-Bonilla <i>et al.</i>	2014b	Community structure of scleractinian corals outside protected areas in Cozumel Island, Mexico	Cozumel	Artículo
Rodríguez-Zaragoza y Arias-González	2015	Coral biodiversity and bio-construction in the northern sector of the mesoamerican reef system	Caribe mexicano	Artículo
Ruiz-Rentería <i>et al.</i>	1998	CARICOMP - Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites	Puerto Morelos	Informe técnico

**Cuadro 4. Especies de coral reportadas en artículos en donde se incluye cobertura coralina o listados faunísticos para el Pacífico mexicano.**

<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Tipo de crecimiento</b>
<i>Pocillopora</i>	<i>P. capitata</i>	Ramoso
	<i>P. damicornis</i>	Ramoso
	<i>P. duerdeni</i>	Ramoso
	<i>P. effusus</i>	Ramoso
	<i>P. elegans</i>	Ramoso
	<i>P. eydouxi</i>	Ramoso
	<i>P. inflata</i>	Ramoso
	<i>P. meandrina</i>	Ramoso
	<i>P. verrucosa</i>	Ramoso
	<i>P. woodjonesi</i>	Ramoso
<i>Porites</i>	<i>P. arnaudi</i>	Masivo
	<i>P. australiensis</i>	Masivo
	<i>P. lichen</i>	Masivo/Nodular/Incrustante
	<i>P. lobata</i>	Masivo
	<i>P. lutea</i>	Masivo/Columnar
<i>Pavona</i>	<i>P. panamensis</i>	Masivo/Columnar/Incrustante
	<i>P. clavus</i>	Masivo
	<i>P. duerdeni</i>	Masivo
	<i>P. gigantea</i>	Masivo
	<i>P. maldivensis</i>	Incrustante
	<i>P. minuta</i>	Masivo/Nodular
	<i>P. varians</i>	Masivo/Incrustante
<i>Psammocora</i>	<i>P. brighami</i>	Masivo/Incrustante
	<i>P. profundacella</i>	Masivo/Incrustante
	<i>P. stellata</i>	Masivo/Incrustante
<i>Tubastrea</i>	<i>P. superficialis</i>	Masivo/Incrustante
	<i>T. coccinea</i>	Nodular
<i>Fungia</i>	<i>F. curvata</i>	Nodular

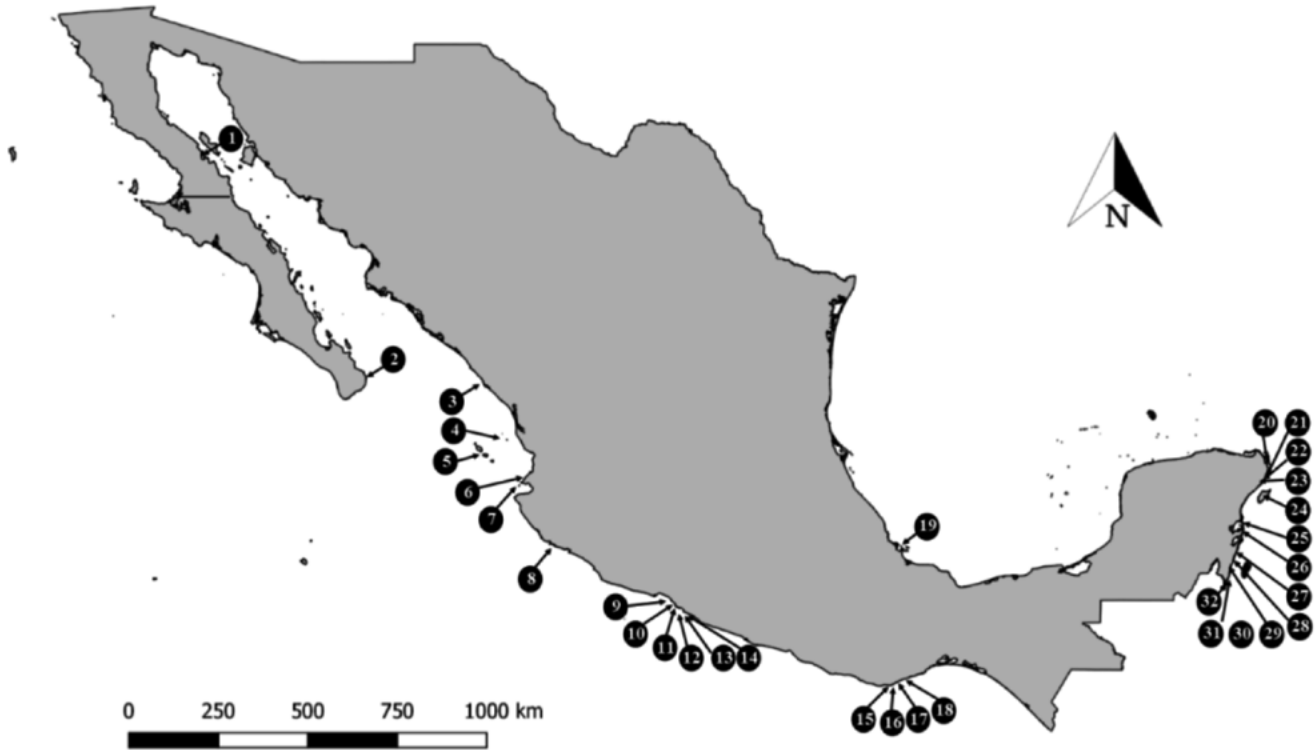
**Cuadro 5. Especies de coral reportados en artículos donde se incluye cobertura coralina o listados faunísticos para el Golfo de México-Mar Caribe.**

<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Tipo de crecimiento</b>
<i>Acropora</i>	<i>A. cervicornis</i>	Foliar
	<i>A. palmata</i>	Foliar
	<i>A. prolifera</i>	Foliar
<i>Agaricia</i>	<i>A. agaricites</i>	---
	<i>A. fragilis</i>	---
	<i>A. grahamae</i>	---
	<i>A. humilis</i>	---
	<i>A. lamarcki</i>	---
<i>Colpophyllia</i>	<i>C. natans</i>	---
	<i>D. stokesii</i>	---
<i>Diploria</i>	<i>D. clivosa</i>	Masivo
	<i>D. labyrinthiformis</i>	Masivo
	<i>D. strigosa</i>	Masivo
<i>Eusmilia</i>	<i>E. fastigiata</i>	---
	<i>F. fragum</i>	---
<i>Favia</i>	<i>I. rigida</i>	---
	<i>I. sinuosa</i>	---
	<i>L. cucullata</i>	---
	<i>M. decactis</i>	---
	<i>M. meandrites</i>	---
<i>Montastraea</i>	<i>M. cavernosa</i>	Masivo

Género	Especie	Tipo de crecimiento
<i>Orbicella</i>	<i>O. annularis</i>	Masivo
	<i>O. faveolata</i>	Masivo
<i>Mussa</i>	<i>M. angulosa</i>	---
<i>Mycetophyllia</i>	<i>M. lamarckiana</i>	---
<i>Porites</i>	<i>P. astreoides</i>	Masivo
	<i>P. colonensis</i>	Masivo
	<i>P. porites</i>	Masivo
<i>Pseudodiploria</i>	<i>P. clivosa</i>	Masivo
	<i>P. strigosa</i>	Masivo
<i>Scolymia</i>	<i>Scolymia</i>	---
<i>Siderastrea</i>	<i>S. radians</i>	Masivo
	<i>S. siderea</i>	Masivo
<i>Stephanocoenia</i>	<i>S. intersepta</i>	---

Para cada uno de los sitios (32) se calculó la PP ( $\text{kg m}^{-2} \text{año}^{-1}$ ) a nivel de especie, considerando la calificación promedio por especie o género; se utilizaron datos de abundancia de los censos de cobertura y se utilizó un factor de 0.1 para el escalamiento de unidades. Para tener una aproximación de la cantidad de carbono que producen anualmente estos ecosistemas, se estimó la producción anual de  $\text{CaCO}_3$ , a partir del cálculo del área arrecifal de los sitios de incluidos en el estudio. El área

arrecifal se calculó para los 28 arrecifes que se presentan en el Cuadro 6 (Figura 5), excluyendo aquellos sitios que no contaban con los datos necesarios para estimar el área arrecifal (sitios 4, 5 y 6 en Figura 5). El análisis de los resultados destaca que los arrecifes coralinos del GM-MC son, considerablemente, más grandes (área arrecifal  $> 668 \text{ km}^2$ ) que las comunidades y arrecifes coralinos del Pacífico mexicano (área arrecifal =  $3.5 \text{ km}^2$ ).



**Figura 5. Localización de los principales arrecifes coralinos de México.**

Bahía de los Ángeles (1), Cabo Pulmo (2), Isla Venado (3), Isla Isabel (4), Punta Mita (5), Islas Mariás (6), Islas Marietas (7), Carrizales (8), Morro de Cerro C. (9), El Chato (10), Caleta de Chon (11), Zacatoso (12), Manzanillo (13), Rocas Potosí (14), San Agustín (15), Jicaral (16), La Entrega (17), Isla Montosa (18), Sistema Arrecifal Veracruzano (19; abarca 42 parches y arrecifes), Cancún (20), Punta Nizuc (21), Puerto Morelos (22), Punta Maroma (23), Cozumel (24), Boca Paila (25), Yuyum (26), Punta Allen (27), El Placer (28), Mahahual (29), Xahuayxol (30), Xcalak (31) y Tampalam (32).

**Cuadro 6. Extensión espacial de arrecifes, comunidades y poblaciones coralinas en México, de donde se obtuvo información de cobertura coralina.**

Región	Sitio	Área (m <sup>2</sup> )
GM-MC	βSistema Arrecifal Veracruzano *1a	50 890 000
	Cancún *2a	5 880 000
	Cozumel *2a	5 705 216
	Yuyum *3a	2 688 000
	Mahahual *3a	2 592 000
	Boca Paila *3a	2 288 000
	Xahuayxol *3a	2 287 000
	Xcalak *3a	1 897 000
	El Placer *3a	1 600 000
	Punta Allen *3a	1 559 000
	Tampalam *3a	1 246 000
	Puerto Morelos *3a	970 000
	Punta Maroma *3a	909 000
	Punta Nizuc *3a	527 000

Región	Sitio	Área (m <sup>2</sup> )
Pacífico Mexicano	Cabo Pulmo <sup>*2a</sup>	2 766 942
	Bahía de los Ángeles <sup>***4a</sup>	217 694
	Isla Venado <sup>***4b</sup>	3 684
	Islas Marietas <sup>*4b</sup>	56 834
	Carrizales <sup>**</sup>	37 599
	Manzanillo <sup>*4b</sup>	52 915
	Morro de Cerro C. <sup>*4b</sup>	31 928
	Rocas Potosí <sup>*4b</sup>	27 797
	El Chato <sup>*4b</sup>	5 027
	Caleta de Chón <sup>*4b</sup>	4 694
	Zacatoso <sup>*4b</sup>	2 089
	La Entrega <sup>*4b</sup>	10 974
	Jicaral <sup>*4b</sup>	24 648
	Isla Montosa <sup>*4b</sup>	43 965
	San Agustín <sup>*4b</sup>	113 408
Punta Mita <sup>**</sup>	---	
Isla Isabel <sup>*</sup>	---	
Islas Mariás <sup>*</sup>	---	

\* arrecife; \*\* comunidad coralina; \*\*\* p oblación coralina.

1 = bases de datos inéditas (Horta-Puga, comunicación personal; Álvarez-Filip, comunicación personal); 2 = bases de datos internacionales (UNEP-WCMC *et al.*, 2010); 3 = artículos científicos (Rodríguez-Zaragoza y Arias-González, 2015); 4 = valores calculados para este artículo a partir de mapas georreferenciados.

a = buena calidad del valor del área; b = dudosa calidad del valor del área

βEl Sistema Arrecifal Veracruzano incluye 84% de arrecifes de plataforma, 12% de parches y 4% de arrecifes costeros (Horta-Puga, comunicación personal).

## CONCLUSIONES

Los arrecifes coralinos de México difieren, notablemente, entre los que se encuentran en el litoral del Pacífico (incluyendo el Golfo de California) y los del Golfo de México y Mar Caribe. Las condiciones menos favorables para el desarrollo de corales hermatípicos en el Pacífico (aguas ricas en nutrientes, menor temperatura y alcalinidad, plataforma continental estrecha) determinan el poco crecimiento de estos ecosistemas. Aunado a lo anterior, el número de especies en esta zona es reducido, debido a que el origen de las especies está en el Indopacífico, aunque cabe destacar que existen varias especies endémicas. Por otro lado, en el litoral del Atlántico, en particular en el Caribe, las condiciones son propicias para los corales y en consecuencia los sistemas arrecifales son de mayor extensión.

Ésta es la primera base de datos que incluye localidades tanto del Pacífico, como del Golfo de México y Mar Caribe, así como la información disponible a la fecha sobre tasas de densidad esquelética, crecimiento, calcificación y cobertura de coral vivo de las principales especies constructoras de arrecifes. Para tener datos más precisos de la producción potencial de carbonato de calcio se requiere evaluar a detalle el área ocupada por los arrecifes, por lo que se recomienda llevar a cabo ese tipo de estudios.

## BASES DE DATOS

De acuerdo con la política del Programa Mexicano del Carbono sobre el acceso libre a las bases de datos asociadas al ciclo del carbono y sus interacciones en México, así como de proporcionar soporte científico a la síntesis del estado del conocimiento del carbono

en ecosistemas acuáticos de México, las bases de datos de este trabajo están disponibles en [http://pmccarbono.org/pmc/bases\\_datos/](http://pmccarbono.org/pmc/bases_datos/).

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Medrano, R. and Calderón-Aguilera, L. E. 2015. Redundancy and diversity of functional reef fish groups of the Mexican Eastern Pacific. *Marine Ecology* 37:119-133.
- Allemand, D., É. Tambutté, D. Zoccola and S. Tambutté. 2011. Coral calcification, cells to reefs. pp. 119-150. *In: Glynn, P., D. Manzello and I. Enochs. Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific. Coral Reefs of the World, vol 8. Springer, Dordrecht.*
- Alvarado, J. J., B. Grassian, J. R. Cantera-Kintz, J. L. Carballo and E. Londoño-Cruz. 2014. Coral reef bioerosion in the eastern tropical Pacific. pp. 369-403. *In: Glynn P., D. Manzello and I. Enochs. Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific. Coral Reefs of the World, vol 8. Springer, Dordrecht.*
- Álvarez-Filip, L., J. P. Carricart-Ganivet, G. Horta-Puga and R. Iglesias-Prieto. 2013. Shifts in coral-assemblage composition do not ensure persistence of reef functionality. *Scientific Reports* 3:1-5.
- Álvarez-Filip, L., M. Encalada and H. Reyes-Bonilla. 2009. Impact of Hurricanes Emily and Wilma on the Coral Community of Cozumel Island, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 84:295-306.
- Andersson, A. J. 2015. A fundamental paradigm for coral reef carbonate sediment dissolution. *Frontiers in Marine Science* DOI:10.3389/fmars.2015.00052.
- Andersson, A. J., L. Yeakel, N. R. Bates and S. J. de Putron. 2014. Partial offsets in ocean acidification from changing coral reef biogeochemistry. *Nature Climate Change* 4:56-61.
- Barbier, E. B., S. D. Hacker, C. Kennedy, E. W. Koch, A. C. Stier and B. R. Silliman. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81:169-193.
- Barranco-Servín, L. M., J. D. Carriquiry, F. A. Rodríguez-Zaragoza, A. L. Cupul-Magaña, J. A. Villaescusa and L. E. Calderón-Aguilera. 2016. Spatiotemporal variations of live coral cover in the northern Mesoamerican Reef System, Yucatan Peninsula, Mexico. *Barranco* 80:143-150.
- Cabral-Tena, R., H. Reyes-Bonilla, S. Lluch-Cota, D. Paz-García, L. Calderón-Aguilera, O. Norzagaray-López and E. Balart. 2013. Different calcification rates in males and females of the coral *Porites panamensis* in the Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series* 476:1-8.
- Calderón-Aguilera, L. E., H. Reyes-Bonilla y J. D. Carriquiry. 2007. El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: Estudios en el Pacífico mexicano. pp. 215-226. *En: Hernández-de la Torre, B. y G. Gaxiola Castro. Carbono en ecosistemas acuáticos de México. SEMARNAT-INE-CI-CESE, Ensenada.*
- Carricart-Ganivet, J. P. 2004. Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 302:249-260.
- Carricart-Ganivet, J. P. 2011. Coral skeletal extension rate: An environmental signal or a subject to inaccuracies? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 405:73-79.
- Carricart-Ganivet, J. P. and H. Reyes-Bonilla. 1999. New and Previous Records of Scleractinian Corals from Clipperton Atoll, Eastern Pacific. *Pacific Science* 53:370-375.
- Carricart-Ganivet, J. P., L. F. Vásquez-Bedoya, N. Cabanillas-Terán and P. Blanchon. 2013. Gender-related differences in the apparent timing of skeletal density bands in the reef-building coral *Siderastrea siderea*. *Coral Reefs* 32:769-777.
- Carricart-Ganivet, J. P., N. Cabanillas-Terán, I. Cruz-Ortega and P. Blanchon. 2012. Sensitivity of Calcification to Thermal Stress Varies among Genera of Massive Reef-Building Corals. *PLoS ONE*, 7:1-8.
- Carriquiry, J. y H. Reyes-Bonilla. 1997. Estructura de la comunidad y distribución geográfica de los arrecifes coralinos de Nayarit. *Ciencias Marinas*. 23:227-248.
- Chave, K. E., S. V. Smith and K. J. Roy. 1972. Carbonate production by coral reefs. *Marine Geology* 12:123-140.
- Cruz-Piñón, G., J. P. Carricart-Ganivet and J. Espinoza-Avalos. 2003. Monthly skeletal extension rates of the hermatypic corals *Montastraea annularis* and *Montastraea faveolata*: Biological and environmental controls. *Marine Biology*. 143:491-500.
- Elizalde-Rendón, M., G. Horta-Puga, P. González-Díaz and J. P. Carricart-Ganivet. 2010. Growth characteristics of the reef-building coral *Porites astreoides* under different environmental conditions in the Western Atlantic. *Coral Reefs*. 29:607-614.
- Glynn, P. and G. Leyte-Morales. 1997. Coral reefs of Huatulco, West México: Reef development in upwelling Gulf of Tehuantepec. *Revista de Biología Tropical* 45:1033-1047.
- Halfar, J., L. Godinez, B. Riegl, J. Valdez-Holguín and J. M. Borges. 2005. Living on the edge: High-latitude *Porites* carbonate production under temperate eutrophic conditions. *Coral Reefs*. 24:582-592.
- Hart, D. E. and Kench, P. S. 2007. Carbonate production of an emergent reef platform, Warraber Island, Torres Strait, Australia. *Coral Reefs* 26:53-68.
- Horta-Puga, G. and J. Carriquiry. 2008. Growth of the hermatypic coral *Montastraea cavernosa* in the Veracruz Reef System. *Ciencias Marinas* 34:107-112.
- Hubbard, D. K., A. Miller and D. Scaturro. 1990. Production and cycling of calcium carbonate in a shelf-edge reef system (St Croix US, Virgin Islands): Applications to the nature of reef system in the fossil record. *Journal of Sedimentary Petrology* 69:335-360.

- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. *In*: Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. M. B. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 27 p.
- Jones, N. S., A. Ridgwell and E. J. Hendy. 2015. Evaluation of coral reef carbonate production models at a global scale. *Biogeosciences* 12:1339-1356.
- Ketchum, J. y H. Reyes-Bonilla. 2001. Taxonomía y distribución de los corales hermatípicos (Scleractinia) del Archipiélago de Revillagigedo, México. *Revista de Biología Tropical* 49:803-848.
- Kleypas, J. A., R. W. Buddemeier, D. Archer, J. P. Gattuso, C. Langdon and B. N. Opdyke. 1999. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science* 284:118-120.
- Lara, M. y Padilla, C. 1996. Efecto del tamaño de las colonias en el crecimiento de *Acropora palmata* en Puerto Morelos. Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 6:17-24.
- López-Pérez, A., A. Cupul-Magaña, M. A. Ahumada-Sempoal, P. Medina-Rosas, H. Reyes-Bonilla, A. Reyes-Hernández and J. Lara-Hernández. 2015. The coral communities of the Islas Marias archipelago, Mexico: Structure and biogeographic relevance to the Eastern Pacific. *Marine Ecology* 4.1-12.
- López-Pérez, R. A., L. E. Calderón-Aguilera, H. Reyes-Bonilla, J. D. Carriquiry, P. Medina-Rosas, A. L. Cupul-Magaña, M. D. Herrero-Perezrul, H. A. Hernández-Ramírez, M. A. Ahumada-Sempoal and B. M. Luna-Salguero. 2012. Coral communities and reefs from Guerrero, Southern Mexican Pacific. *Marine Ecology* 33:407-416.
- López-Pérez, R. and M. Hernández-Ballesteros 2004. Coral community structure and dynamics in the Huatulco area, western Mexico. *Bulletin of Marine Science –Miami-* 75:453-472.
- Medellín-Maldonado, F., R. A. Cabral-Tena, A. López-Pérez, L. E. Calderón-Aguilera, C. O. Norzagaray-López, C. Chapa-Balcorta and R. C. Zepeta-Vilchis. 2016. Calcification of the main reef-building coral species on the Pacific coast of southern Mexico. *Ciencias Marinas* 42:209–225.
- Medina-Rosas, P. 2006. Los corales hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia) de Mazatlán, Sinaloa. *Ciencia y Mar.* 10:13-17.
- Moberg, F. and C. Folk. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics* 29:2 15-233.
- Morgan, K. 2014. A calcium carbonate budget of a Maldivian reef platform. Tesis de Doctorado en Ciencias. University of Auckland. New Zealand. 241 p.
- Mozqueda-Torres, M. C. 2014. Tasa de calcificación y densidad esquelética entre sexos de *Montastraea cavernosa*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 48 p.
- Norzagaray-López, C. O., J. M. Hernández-Ayón, L. E. Calderón-Aguilera, H. Reyes-Bonilla, C. Chapa-Balcorta and A. Ayala-Bocos. 2017. Aragonite saturation and pH variation in a fringing reef are strongly influenced by oceanic conditions. *Limnology and Oceanography* 62:2375-2388.
- Norzagaray-López, C. O., L. E. Calderón-Aguilera, J. M. Hernández-Ayón, H. Reyes-Bonilla, J. P. Carricart-Ganivet, R. A. Cabral-Tena and E. Francisco Balart. 2015. Low calcification rates and calcium carbonate production in *Porites panamensis* at its northernmost geographic distribution. *Marine Ecology* 36:1244-1255.
- Norzagaray-López, O. C., L. E. Calderon-Aguilera, A. B. Castro-Ceseña, G. Hirata and J. M. Hernández-Ayón. 2017. Skeletal dissolution kinetics and mechanical tests in response to morphology among coral genera. *Facies* 63:1-14.
- Pérez-Vivar, T. L., H. Reyes-Bonilla y C. Padilla, C. 2006. Corales pétreos (Scleractinia) de las Islas Marias, Pacífico de México. *Ciencias Marinas* 32:259-270.
- Perry, C. T., E. N. Edinger, P. S. Kench, G. N. Murphy, S. G. Smithers, R. S. Steneck and P. J. Mumby. 2012. Estimating rates of biologically driven coral reef framework production and erosion: a new census-based carbonate budget methodology and applications to the reefs of Bonaire. *Coral Reefs* 31:853–868.
- Reyes-Bonilla, H. 1993. Distribución, riqueza específica, aspectos biogeográficos y taxonómicos de los corales hermatípicos del Golfo de California. Tesis de maestría. CICESE.
- Reyes-Bonilla, H. and L. Calderón-Aguilera. 1999. Population Density, Distribution and Consumption Rates of Three Corallivores at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology*. 20:347-357.
- Reyes-Bonilla, H. y L. E. Calderón-Aguilera. 1994. Parámetros poblacionales de *Porites panamensis* (Anthozoa: Scleractinia) en el arrecife de Cabo Pulmo, México. *Revista de Biología Tropical* 42:121-128.
- Reyes-Bonilla, H., E. L. Escobosa-González, A. Cupul-Magaña, P. Medina-Rosas and L. Calderón-Aguilera. 2013. Estructura comunitaria de corales zooxantelados (Anthozoa: Scleractinia) en el arrecife coralino de Carrizales, Pacífico Mexicano. *Revista de biología tropical.* 61:583-594.
- Reyes-Bonilla, H., L. Calderón-Aguilera, G. Cruz-Piñón, P. Medina-Rosas, R. A. López Pérez, M. D. Herrero Pérezrul, G. Leyte-Morales, A. Cupul-Magaña y J. Carriquiry. 2005. Atlas de Corales Pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico Mexicano. CICESE, CON ABIO, CONACYT, UABCS, UdeG y UMAR. México. 124 p.
- Reyes-Bonilla, H., L. E. Calderón-Aguilera, M. C. Mozqueda-Torres y J. D. Carriquiry. 2014a. Presupuesto de carbono en arrecifes coralinos de México. *Interciencia* 39:645-650.
- Reyes-Bonilla, H., M. Millet-Encalada and L. Alvarez-Filip. 2014b. Community Structure of Scleractinian Corals outside



- Protected Areas in Cozumel Island, Mexico. Atoll research bulletin 601:1-16.
- Reyes-Bonilla, H., P. A. Álvarez del Castillo Cárdenas, L. E. Calderón-Aguilera, C. E. Erosa-Ricárdez, F. J. Fernández Rivera Melo, T. C. Frausto, B. M. Luna-Salguero, X. G. Moreno-Sánchez, M. C. Mozqueda-Torres, C. O. Norzagaray-López y D. Patatán-Ramírez. 2014c. Servicios ambientales de arrecifes coralinos: El caso del Parque Nacional Cabo Pulmo, B. C. S. pp. 49-78. En: Urciaga-García, J. I. Desarrollo Regional en Baja California Sur: Una perspectiva de los servicios ecosistémicos. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz.
- Riegl, B., J. Halfar, S. J. Purkis and L. Godínez-Orta. 2007. Sedimentary facies of the eastern Pacific's northernmost reef-like setting (Cabo Pulmo, Mexico). *Marine Geology* 236:61-77.
- Rodríguez-Zaragoza, F. A. and J. E. Arias-González. 2015. Coral biodiversity and bio-construction in the northern sector of the mesoamerican reef system. *Frontiers in Marine Science* 2:1-16.
- Ruiz-Rentería, F., B. I. van Tussenbroek and E. Jordán-Dahlgren. 1998. Puerto Morelos, Quintana Roo, México. pp. 57- 66. *In*: Kjerfve, B. (ed.). Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites. Coastal region and small island papers 3, UNESCO, Paris.
- Shi, S., Z. Meixia, Z. QiaoMin, Y. KeFu, C. Tianran, L. Shu and W. HanKui. 2008. Estimate of carbonate production by scleractinian corals at Luhuitou fringing reef, Sanya, China. *Chinese Science Bulletin* 54:696-705.
- Smith, S. V. 2013. Parsing the oceanic calcium carbonate cycle: a net atmospheric carbon dioxide source, or a sink? L&O e-Books. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. Texas. 42 p. DOI: 10.4319/svsmith.2013.978-0-9845591-2-1.
- Tortolero-Langarica, J. de J. A., A. L. Cupul-Magaña, J. P. Carricart-Ganivet, A. B. Mayfield and A. P. Rodríguez-Troncoso. 2016. Differences in Growth and Calcification Rates in the Reef-Building Coral *Porites lobata*: The Implications of Morphotype and Gender on Coral Growth. *Frontiers in Marine Science*, 3:1-10.
- Tortolero-Langarica, J. J. A., A. P. Rodríguez-Troncoso, A. L. Cupul-Magaña and J. P. Carricart-Ganivet. 2017. Calcification and growth rate recovery of the reef-building *Pocillopora* species in the northeast tropical Pacific following an ENSO disturbance. *PeerJ* 5:e3191. DOI:10.7717/peerj.3191.
- Tortolero-Langarica, J. J. A., A. P. Rodríguez-Troncoso, J. P. Carricart-Ganivet and A. L. Cupul-Magaña. 2016. Skeletal extension, density and calcification rates of massive free-living coral *Porites lobata* Dana, 1846. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 478:68-76.
- Tortolero-Langarica, J. J. A., J. P. Carricart-Ganivet, A. L. Cupul-Magaña and A. P. Rodríguez-Troncoso. 2017. Historical insights on growth rates of the reef-building corals *Pavona gigantea* and *Porites panamensis* from the Northeastern tropical Pacific. *Marine Environmental Research* 132:23-32.
- Tribble, G. W. 1993. Organic matter oxidation and aragonite diagenesis in a coral reef. *Journal of Sedimentary Petrology* 63:23-527.
- UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WRI and TNC. 2010. Global distribution of coral reefs, compiled from multiple sources including the Millennium Coral Reef Mapping Project. Version 4.0, updated by UNEP-WCMC. Includes contributions from IMaRS-USF and IRD (2005), IMaRS-USF (2005) and Spalding *et al.* (2001). Cambridge (UK): UNEP World Conservation Monitoring Centre. URL: <http://data.unep-wcmc.org/datasets/1>.
- Vecsei, A. 2001. Fore-reef carbonate production: development of a regional census-based method and first estimates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 175:185-200.
- Vecsei, A. 2004. A new estimate of global reefal carbonate production including the fore-reefs. *Global and Planetary Change* 43:1-18.
- Veron, J. 2000. *Corals of the World*. AIMS and CRR. Queensland 463 p.