

Nota de Investigación/Research Note

Growth of the hermatypic coral *Montastraea cavernosa* in the Veracruz Reef System

Crecimiento del coral hermatípico *Montastraea cavernosa* en el Sistema Arrecifal Veracruzano

G Horta-Puga¹, JD Carriquiry²

¹ Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UBIPRO, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla 54090, México. E-mail: horta@servidor.unam.mx

² Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Tijuana-Ensenada Km 103, Ensenada 2800, Baja California, México. E-mail: jose_carriquiry@uabc.mx

Abstract

The hermatypic coral *Montastraea cavernosa* is one of the most important reef-builders in the Veracruz Reef System, an ecosystem that has developed in a highly turbid environment. Despite the ecological importance of this species, studies about its growth rate are scarce. This study therefore aims to present the annual growth rates of the scleractinian coral *M. cavernosa* for the period 1923–2001 in the southern Gulf of Mexico (SGM). Average extension rate was $2.9 \pm 0.9 \text{ mm yr}^{-1}$ (σ), which is slightly lower, although not significantly different, than previous records for this species from other reef settings. No correlation was found between sea surface temperature and extension rate, indicating that growth could be influenced by some other factor. We suggest that, as the coastal SGM is a turbid environment, the conditions for coral development are harsher than in other reef areas with pristine waters, and that this could negatively affect the coral's performance, reducing its growth rate.

Key words: growth, *Montastraea cavernosa*, Veracruz Reef System, Gulf of Mexico.

Resumen

El coral hermatípico *Montastraea cavernosa* es uno de los más importantes constructores de arrecifes en el Sistema Arrecifal Veracruzano, un ecosistema arrecifal que se ha desarrollado en un ambiente de aguas con una gran turbidez. A pesar de la importancia ecológica de esta especie, los estudios sobre su tasa de crecimiento son escasos. El objetivo de este estudio es presentar las tasas de crecimiento anual del coral escleractinio *M. cavernosa* para el periodo 1923–2001 en el sur del Golfo de México (SGM). La tasa de extensión lineal media fue de $2.9 \pm 0.9 \text{ mm año}^{-1}$, la cual es ligeramente menor, aunque no significativamente diferente, que los registros previos para esta especie en otras localidades arrecifales. No se encontró correlación entre la temperatura oceánica superficial y la tasa de extensión lineal, lo que indica que la tasa de crecimiento podría ser influenciada por algún otro factor ambiental. Se sugiere que, dado que el SGM es un ambiente con aguas turbias, las condiciones para el desarrollo coralino son más severas que en otras áreas arrecifales con aguas prístinas, lo que podría estar afectando negativamente el desarrollo del coral reduciendo su tasa de crecimiento.

Palabras clave: crecimiento, *Montastraea cavernosa*, sistema arrecifal veracruzano, Golfo de México.

Introduction

Nearshore and coastal reef systems may develop in turbid environments, where suspended sediments and turbidity are high due to excessive inputs of sediment from the land, via river discharge (Rogers 1990). Several adverse effects have been identified in corals as the result of high sedimentation rates: death through burial (Wesseling *et al.* 1999, Nugues and Roberts 2003), disruption of the recruitment success (Hodgson 1990, Gilmour 1999), reduction of coral photosynthesis and growth (Philipp and Fabricius 2003, Nugues and Roberts 2003), and decrease in skeletal density (Carricart-Ganivet and Merino 2001). The coral reefs of the Veracruz Reef System (VRS) in the southern Gulf of Mexico (SGM) have developed in a turbid environment generated by the outflow of the Jamapa River (Morelock and Koenig 1967, Carricart-Ganivet and

Introducción

Los sistemas arrecifales costeros pueden desarrollarse en ambientes de aguas turbias donde los sedimentos suspendidos y la turbidez son altos debido a aporte excesivo de sedimentos de origen continental, a través de las descargas fluviales (Rogers 1990). Se han identificado diversos efectos adversos en los corales como resultado de altas tasas de sedimentación: muerte por enterramiento (Wesseling *et al.* 1999, Nugues y Roberts 2003), interrupción del éxito reproductivo (Hodgson 1990, Gilmour 1999), reducción de la fotosíntesis y crecimiento coralino (Philipp y Fabricius 2003, Nugues y Roberts 2003), y disminución de la densidad de sus esqueletos (Carricart-Ganivet y Merino 2001). Los arrecifes coralinos del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) se han desarrollado en un ambiente de aguas turbias generado por la descarga del Río

Horta-Puga 1993, Tunnell 1988, Horta-Puga 2007). The turbidity in this area is so high that it could preclude the development of some coral species. Nevertheless, the scleractinian coral *Montastraea cavernosa* (Linnaeus 1767), a highly sediment-resistant species (Bak and Elgershuizen 1976) due to its great ability to reject silt and clay-sized materials (Hubbard and Pocock 1972), has become a very competitive and dominant species, as in other turbid reef environments like Ponce Reef, Puerto Rico (Acevedo *et al.* 1989). Therefore, it is considered that in tropical Atlantic reef environments with high particulate matter concentrations *M. cavernosa* becomes the dominant species. Such is the case of the VRS (Horta-Puga 2007), where this species is the most important hermatypic coral in shallow areas (3–12 m) of the reef front slopes, with a relative abundance of up to 40.0% (Horta-Puga 2003).

Recent literature on scleractinians from Mexico has focused on various aspects including the paleoceanography, taxonomy, biogeography and reproduction (Carriquiry and Reyes-Bonilla 1997, Villaescusa and Carriquiry 2004, Medina-Rosas *et al.* 2005, Pérez-Vivar *et al.* 2006, Horta-Puga *et al.* 2007), and on the growth of *Montastraea annularis* (Carricart-Ganivet *et al.* 1994, 2000; Carricart-Ganivet and Merino 2001; Carricart-Ganivet 2004). Although some growth records are available for *M. cavernosa* (Weber and White 1977, Berger *et al.* 2002), there are no growth data for this ecologically important coral in the VRS, a turbid reef environment. This study therefore aims to present the first record of skeletal extension rates (AER) for this coral species in the SGM.

Material and methods

An entire healthy, live coral colony, of about 60 cm in height, of the reef-building coral *M. cavernosa* was collected in October 2002, at a depth of ~2.5 m, from the back-reef zone of the Sacrificios Island reef, VRS (19°10'26" N, 96°05'32" W). An X-radiograph of a 9-mm-thick slab was obtained to reveal the position of density growth bands. The radiograph was digitized, converted to positive image (fig. 1), and processed with the Scion Image Beta 4.0.2® software. As annual density bands could not be clearly differentiated by visual inspection of the image, the sclerochronology was determined by measuring the optical density along a 4-mm-wide transect, following the growth trajectory of a single corallite and trying to avoid crossing corallite walls (Dodge and Brass 1984). Optical density varies as a function of skeletal density, and a density profile plot was obtained by averaging optical density data of pixels located at the same distance from the top of the colony (fig. 2). The AER was determined by measuring the linear distance between the highest points of successive peaks on the density plot, which correspond to the position of high-density bands in the coral (Dodge and Brass 1984).

Results

Figure 3 shows the AER calculated for each year, which varied from 1.0 mm yr⁻¹ in 1986 to 5.1 mm yr⁻¹ in 1991, with

Jamapa (Morelock y Koenig 1967, Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993, Tunnell 1988, Horta-Puga 2007). La turbidez en esta area es tan alta que podría inhibir el desarrollo de algunas especies de coral, pero el coral escleractinio *Montastraea cavernosa* (Linnaeus 1767) es una especie muy resistente a la sedimentación (Bak y Elgershuizen 1976) debido a su gran capacidad para rechazar materiales particulados pequeños como limos y arcillas (Hubbard and Pocock 1972). Por ello llega a ser una especie sumamente competitiva y dominante en ambientes arrecifales de aguas turbias como en el arrecife Ponce en Puerto Rico (Acevedo *et al.* 1989). Por tanto, se considera que en los ambientes arrecifales del Atlántico tropical con concentraciones altas de material particulado, el coral hermatípico *M. cavernosa* será la especie dominante. Tal es el caso del SAV (Horta-Puga 2007), donde éste es el coral hermatípico más importante en las áreas someras (3–12 m) de los taludes arrecifales en los que su abundancia relativa llega hasta el 40% (Horta-Puga 2003).

La literatura reciente sobre escleractinios de México se ha enfocado en varios aspectos que incluyen paleoceanografía, taxonomía, biogeografía o reproducción (Carriquiry y Reyes-Bonilla 1997, Villaescusa y Carriquiry 2004, Medina-Rosas *et al.* 2005, Pérez-Vivar *et al.* 2006, Horta-Puga *et al.* 2007), y el crecimiento de *M. annularis* (Carricart-Ganivet *et al.* 1994, 2000; Carricart-Ganivet y Merino 2001; Carricart-Ganivet 2004), pero no en el crecimiento de *M. cavernosa*, y aunque hay algunos registros disponibles sobre las tasas de crecimiento de esta especie de coral ecológicamente importante (Weber y White 1977, Berger *et al.* 2002), no existen datos sobre *M. cavernosa* en el SAV, un ambiente de aguas turbias. La finalidad de este estudio es presentar el primer registro de las tasas de extensión esqueletal (TEL) para esta especie de coral.

Materiales y métodos

Se recolectó una colonia viva, completa y de aspecto saludable, de aproximadamente 60 cm de altura, del coral constructor de arrecifes *M. cavernosa* en octubre de 2002, a una profundidad de ~2.5 m en la zona posterior del arrecife Isla de Sacrificios, SAV (19°10'6" N, 96°05'32" O). Se radiografió una laja de 9 mm de espesor para determinar la posición de las bandas de crecimiento de densidad. La radiografía fue digitalizada, convertida a una imagen positiva (fig. 1) y procesada con el programa Scion Image Beta 4.0.2®. Dado que las bandas de densidad anuales no pudieron ser diferenciadas claramente por inspección visual de la imagen, la esclerochronología fue determinada midiendo la densidad óptica a lo largo de un transecto de 4 mm de ancho, siguiendo la trayectoria de crecimiento de una sola corallita y tratando de evitar el atravesar las paredes de la corallita (Dodge y Brass 1984). La densidad óptica varía en función de la densidad esqueletal, por lo cual se obtuvo un gráfico con el perfil de densidad promediando los datos de densidad óptica de los píxeles localizados a la misma distancia desde el margen superior de la colonia (fig. 2). La TEL fue

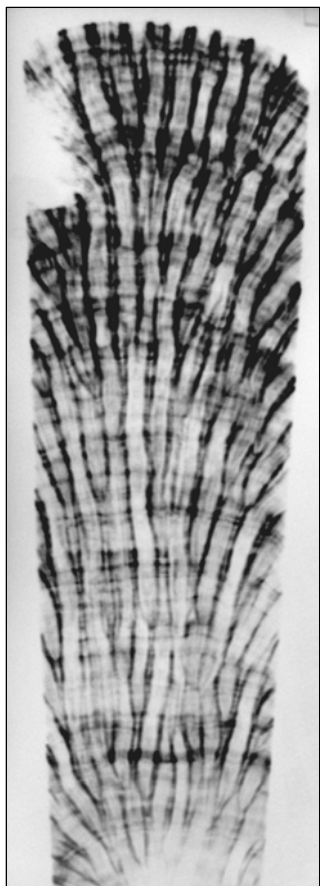


Figure 1. Positive X-radiograph of a *Montastraea cavernosa* colony, showing the density bands.

Figura 1. Imagen positiva de la radiografía de una colonia de *Montastraea cavernosa*, mostrando las bandas de densidad.

an average of 2.9 ± 0.9 mm yr⁻¹ (σ) and a high coefficient of variation (CV = 32.4%). The age model of the colony was constructed starting from the second density couplet (peaks and valleys corresponding to the year 2001) because the first couplet had not yet completely formed in the year the coral was collected (2002). Hence, the year of density band formation was retrospectively assigned back to 1923, resulting in a 79-year record of coral growth. The optical density peaks suspected to be stress bands were not considered because of their close proximity to the high-density bands and because they presented a lower optical density than that shown by the adjacent high-density bands. Since this coral colony was retrieved in October, when a high-density band was being formed, it was assumed that *M. cavernosa* in the SGM forms this band during the late summer, as was previously described for this species (Berger *et al.* 2002).

Discussion

The average growth rate of *M. cavernosa* in the SGM was slightly lower than that reported for the same species from

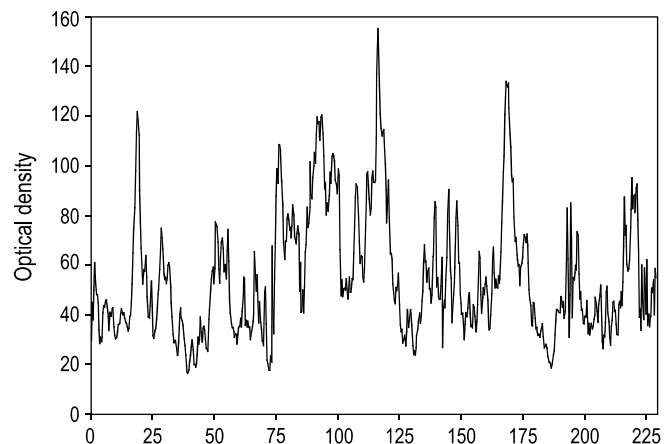


Figure 2. Optical density (conventional gray scale units) vs distance from the top along the axis of maximum growth.

Figura 2. Densidad óptica (unidades en una escala convencional de grises) vs la distancia desde la parte alta a lo largo del eje máximo de crecimiento.

determinada midiendo la distancia lineal entre los puntos más altos de picos sucesivos en el gráfico de densidad, los que corresponden a la posición de las bandas de alta densidad en el coral (Dodge y Brass 1984).

Resultados

La figura 3 muestra las TEL anuales calculadas para cada año, la cual varió desde 1.0 mm año⁻¹ en 1986 hasta 5.1 mm año⁻¹ en 1951, con un promedio general de 2.9 ± 0.9 mm año⁻¹ (σ) y un coeficiente de variación alto (CV = 32.4%). El modelo de edad de la colonia fue construido empezando con el segundo par de bandas de densidad (picos y valles correspondientes a 2001) por que el primer par no estaba formado completamente en el año en que el coral fue recolectado (2002). De esta forma, el año de formación de cada banda de densidad fue asignada retrospectivamente hasta 1923, dando como resultado un registro de 79 años de crecimiento coralino. No tomaron en cuenta los picos de densidad óptica que se sospechaban bandas de estrés dada su proximidad a una banda de alta densidad y su menor densidad óptica con relación a las bandas de alta densidad adyacentes. En octubre, cuando la colonia fue recolectada, se estaba formando en ella una banda de alta densidad, por lo que se supuso en el SGM *M. cavernosa* forma esta banda a fines del verano, tal y como se ha descrito previamente para esta especie (Berger *et al.* 2002).

Discusión

La tasa de crecimiento media resultó ligeramente inferior a la encontrada otras áreas arrecifales para esta especie: 3.2 mm año⁻¹ en Belice, los Cayos de Florida y Panamá; 3.5 mm año⁻¹ en Jamaica (Weber y White 1977); y 3.1 mm año⁻¹ para el registro conocido más largo (~800 años) de las Bermudas, el cual también muestra un intervalo de variación similar, de 1.7–

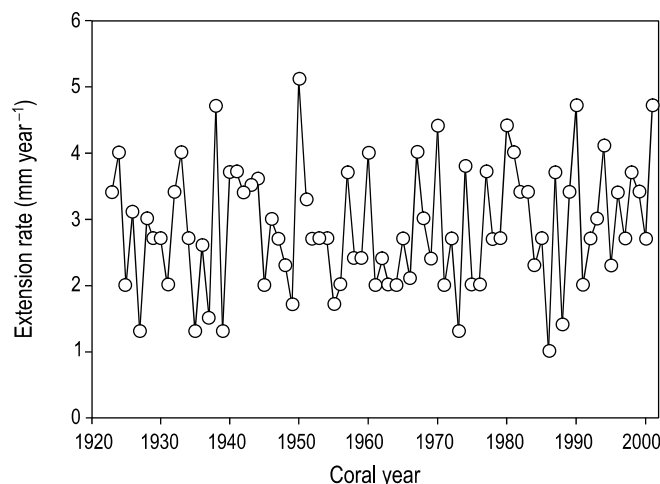


Figure 3. Annual extension rates for *Montastraea cavernosa* from the Veracruz Reef System.

Figura 3. Tasa de extensión anual para *Montastraea cavernosa* del Sistema Arrecifal Veracruzano.

other reef areas: 3.2 mm yr⁻¹ in Belize, the Florida Keys, and Panama; 3.5 mm yr⁻¹ in Jamaica (Weber and White 1977); and 3.1 mm yr⁻¹ for the longest known record (~800 years) from Bermuda, which also showed a similar growth range, 1.7–5.0 mm yr⁻¹ (Berger *et al.* 2002). However, no significant differences were found among the growth data.

Growth rate through time is highly variable, with no apparent time trend (fig. 3). To determine whether there is any trend, the anomalies (AER minus average annual rate) for AER were calculated and then data-filtered by a ten-year moving average to eliminate high-frequency, noisy signals in raw annual data (fig. 4). As can be seen there are three periods when the AER is above average (1937–1948, 1977–1986 and 1992–1997), alternating with periods of below average growth, especially from 1949 to 1976, nearly 30 years of negative anomalies. As sea surface temperature (SST) is considered to be a major positive driving force on AER and calcification (Dodge and Lang 1983; Lough and Barnes 1997, 2000), the relationship between AER and SST was analyzed. Figure 4 shows the time series for the AER and SST anomalies, both smoothed by a ten-year filter. The SST dataset was obtained from a 2° × 2° lat-long cell, centered at 20°N, 96°W (ERSSTv2: Smith and Reynolds 2004). Time trends for both variables are quite different, with no significant correlation ($r = -0.08$, $P < 0.05$). This suggests that some other environmental factor could be involved in controlling or at least influencing coral growth.

Pätzold and Wefer (1992) studied the growth rate of an 800-year-old colony of *M. cavernosa* in Bermuda, and reported an inverse correlation with SST that was attributed to the wind-induced vertical mixing, which cools surface waters but also injects nutrients into the photic zone that possibly enhance coral growth. Thus, the growth of *M. cavernosa* may also be influenced by nutrient availability. Note that the average growth rate of 3.1 mm yr⁻¹ of the Bermuda colony is very similar and not significantly different from that observed in the

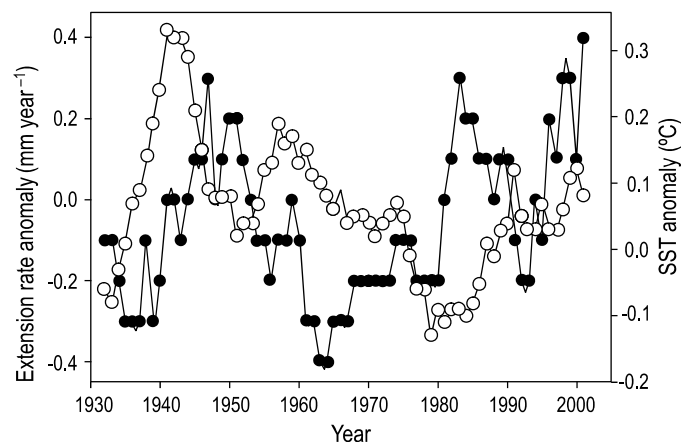


Figure 4. Comparison between linear extension rate anomalies (●) and SST anomalies (○) for the southern Gulf of Mexico. Data smoothed by a ten-year moving average.

Figura 4. Comparación entre las anomalías de la tasa de extensión lineal (●) y las anomalías de la TOS (○) para el sur del Golfo de México. Datos suavizados utilizando una media móvil con ventana de 10 años.

5.0 mm año⁻¹ (Berger *et al.* 2002). Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa entre los datos registrados de crecimiento.

La tasa de crecimiento es sumamente variable a lo largo del tiempo, sin una tendencia temporal aparente (fig. 3). Para determinar si se presenta alguna tendencia, se calcularon las anomalías (TEL anual menos tasa media anual) para la TEL anual y los datos se filtraron utilizando una media móvil con ventana de 10 años para eliminar las señales o ruido de alta frecuencia en los datos crudos anuales (fig. 4). Como puede observarse, hay tres periodos en los que la TEL se encuentra por arriba del promedio, 1937–1948, 1977–1986 y 1992–1997, alternando con periodos de crecimiento por debajo del promedio especialmente en 1949–1976, casi 30 años de anomalías negativas. Dado que se sabe que la temperatura oceánica superficial (TOS) es un agente de forzamiento positivo en la TEL y la tasa de calcificación (Dodge y Lang 1983; Lough y Barnes 1997, 2000), se investigó la relación entre TEL y TOS. La figura 4 muestra las series de tiempo de las anomalías de TEL y TOS, ambas suavizadas con un filtro de 10 años. Los datos de la TOS se obtuvieron para una celda de 2° × 2° (lat-long), centrada en 20°N, 96°W (ERSSTv2: Smith and Reynolds 2004). Las tendencias temporales de ambas variables son muy diferentes, con una correlación no significativa ($r = -0.008$, $P < 0.05$). Esto sugiere que podría estar involucrado algún otro factor ambiental, controlando o al menos influenciando el crecimiento coralino.

Pätzold y Wefer (1992) estudiaron la tasa de crecimiento de una colonia de 800 años de *M. cavernosa* de las Bermudas, y reportaron una correlación inversa con la TOS. Tal correlación fue atribuida a la mezcla vertical inducida por el viento, el cual enfría las aguas superficiales pero también inyecta nutrientes en la zona fótica, posiblemente favoreciendo el crecimiento coralino. Por tanto, el crecimiento de *M. cavernosa* podría

VRS (2.9 mm yr^{-1}), even though the annual average SST in Bermuda (23.2°C) is 3.5°C lower than in the VRS (26.7°C), as calculated for the 1950–2004 period (ERSSTv2: Smith and Reynolds 2004). The average growth rate in the VRS is also lower than that recorded in Jamaica and Belize, with a higher average annual SST. A plausible explanation for the slightly lower growth rates of *M. cavernosa* could be that the VRS is a highly turbid environment, with low visibility ($<10\text{--}12 \text{ m}$) in the surface layer (the first 5–9 m depth) throughout the year (Tunnell 1988). Though data are lacking regarding the concentration of suspended solids in Veracruz coastal waters, the Jamapa River discharges into the coastal area where the VRS is located all year long, and the presence of terrigenous sediments in inter-reef areas can be attributed to this (Morelock and Koenig 1967, Horta-Puga 2007). Corals living in a turbid environment are forced to expend considerable energy in order to reject the sediments from their surface (Hubbard and Pocock 1972); this behavior has already been reported for *M. cavernosa* (Bak and Elgerhuizen 1976, Lasker 1980). Experimental data available in the literature have demonstrated that reef corals exposed to a high load of suspended sediments showed a decrease in net photosynthesis due to a reduction of light (Abdel-Salam and Porter 1988). Since photosynthesis is coupled with calcification in zooxanthellate corals (Furla *et al.* 2000), the obvious consequence is a decrease in skeletal linear extension rate, as has been reported for other reef corals thriving in turbid environments (Torres and Morelock 2002). However, Carricart-Ganivet and Merino (2001) analyzed density, extension and calcification rates, and found that *M. annularis* growing in the VRS sacrificed skeletal density in order to maintain a high extension rate, with a reduced calcification rate. This mechanism cannot be ascribed to *M. cavernosa* since density was not determined for this species.

Hence, notwithstanding that SST is higher in Veracruz than in Bermuda, this is not the main driving force for the growth of *M. cavernosa*. Perhaps the relatively slow growth rate of this coral species in the VRS could be explained by an adverse physiological effect due to the high concentration of suspended sediments in the water column. This suggestion can be supported by the fact that corals growing in more pristine waters (e.g., Belize, Florida and Jamaica) showed higher growth rates (Weber and White 1977). Although *M. cavernosa* is a dominant coral species in turbid reef environments because of its high capacity to deal with the sediments that settle on it, its ecological success may depend on the ability to allocate energy resources into sediment rejection, instead of other physiologic processes like growth; however, this issue needs to be adequately addressed in the future.

Acknowledgements

We thank the Veracruz Aquarium and in particular MA Román, R Martínez and A Zorilla for providing support during the field work. We also thank an anonymous reviewer for fruitful comments.

también estar siendo influenciado por la disponibilidad de nutrientes. Es importante señalar que la tasa media de crecimiento de 3.1 mm año^{-1} en la colonia de Bermudas es similar y no significativamente diferente de la que se observó en el SAV (2.9 mm año^{-1}), aún a pesar de que la TOS anual media en Bermudas (23.2°C) es 3.5°C más baja que en el SAV (26.7°C) según se calculó para 1950–2004 (ERSSTv2: Smith and Reynolds 2004). Más aun la tasa de crecimiento en el SAV es menor que la registrada en Jamaica y Belice, con TOS medias anuales más altas. Una posible explicación para las ligeramente inferiores tasas de crecimiento de *M. cavernosa* podría ser que el SAV es un ambiente con aguas muy turbias, con baja visibilidad ($<10\text{--}12 \text{ m}$) en la capa superficial (5–9 m de profundidad) a lo largo de todo el año (Tunnell 1988). Aunque no existen datos disponibles en la literatura con respecto a la concentración de sólidos suspendidos en las aguas costeras de Veracruz, el SAV está localizado en un área costera donde el Río Jamapa descarga todo el año provocando la presencia de sedimentos terrígenos en las áreas interarrecifales (Morelock y Koenig 1967, Horta-Puga 2007). Viviendo en un ambiente turbio, los corales son forzados a utilizar considerables recursos energéticos para poder deshacerse de los sedimentos sobre su superficie (Hubbard y Pocock 1972). Tal comportamiento ya ha sido reportado en *M. cavernosa* (Bak y Elgerhuizen 1976, Lasker 1980). Los datos experimentales disponibles en la literatura demuestran que los corales arrecifales expuestos a una carga alta de sedimentos suspendidos muestran una disminución en su tasa neta de fotosíntesis debido a la reducción de la luz (Abdel-Salam y Porter 1988). Dado que en los corales zooxantelados la fotosíntesis está acoplada a la calcificación (Furla *et al.* 2000), la consecuencia obvia es un decremento en la tasa de extensión lineal esquelética, tal como ha sido registrada para otros corales arrecifales que se desarrollan en ambientes turbios (Torres y Morelock 2002). Sin embargo, Carricart-Ganivet y Merino (2001) analizaron la densidad y las tasa de extensión y calcificación, y encontraron que cuando *M. annularis* crece en el SAV sacrifica la densidad esquelética para poder mantener una tasa de extensión alta, con una tasa de calcificación reducida. Sin embargo, no ha sido posible atribuir este mismo mecanismo a *M. cavernosa*, dado que no se determinó su densidad.

Así, independientemente de que la TOS es más alta en Veracruz que en la Bermudas, ésta no es el agente principal de forzamiento del crecimiento en *M. cavernosa*. Quizás la tasa relativamente baja de crecimiento para esta especie de coral en el SAV podría ser explicada por un efecto fisiológico adverso debido a la alta concentración de sedimentos suspendidos en la columna de agua. Esta suposición podría estar apoyada por el hecho de que los corales que crecen en aguas más prístinas (p. ej. Belice, Florida y Jamaica) muestran tasas de crecimiento mayores (Weber y White 1977). Aunque *M. cavernosa* es una especie coralina dominante en ambientes arrecifales turbios por su gran capacidad para manejar sedimentos que caen sobre ella, su éxito ecológico puede depender de su habilidad para dedicar sus recursos energéticos a rechazar los sedimentos y no a otros procesos fisiológicos tales como el crecimiento. Sin

References

- Abdel-Salam HA, Porter JW. 1988. Physiological effects of sediment rejection on photosynthesis and respiration in three Caribbean reef corals. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.* 2: 285–292.
- Acevedo R, Morelock J, Olivieri RA. 1989. Modification of coral reef zonation by terrigenous sediment stress. *Palaos* 4: 92–100.
- Bak RPM, Elgershuizen JHBW. 1976. Patterns of oil-sediment rejection in corals. *Mar. Biol.* 37: 105–113.
- Berger WH, Pätzold J, Wefer G. 2002. Times of quiet, times of agitation: Sverdrup's conjecture and the Bermuda coral record. In: Wefer G, Berger W, Behre KE, Jansen E (eds.), *Climate Development and History of the North Atlantic Realm*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 89–99.
- Carricart-Ganivet JP. 2004. Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 302: 249–260.
- Carricart-Ganivet JP, Horta-Puga G. 1993. Arrecifes de coral en México. In: Salazar-Vallejo SI, González NE (eds.), *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO, CIQRO, México, pp. 81–92.
- Carricart-Ganivet JP, Merino M. 2001. Growth response of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 68: 133–146.
- Carricart-Ganivet JP, Horta-Puga G, Ruiz-Zárate MA, Ruiz-Zárate E. 1994. Tasas retrospectivas de crecimiento en el coral hermatípico *Montastraea annularis* en arrecifes del sur del Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* 42: 515–521.
- Carricart-Ganivet JP, Beltrán-Torres AU, Merino M, Ruiz-Zárate MA. 2000. Skeletal extension, density and calcification rate of the reef building coral *Montastraea annularis* (Ellis and Solander) in the Mexican Caribbean. *Bull. Mar. Sci.* 66: 215–224.
- Carriquiry JD, Reyes-Bonilla H. 1997. Estructura de la comunidad y distribución geográfica de los arrecifes coralinos de Nayarit. *Cienc. Mar.* 23: 227–248.
- Dodge RE, Lang JC. 1983. Environmental correlates of hermatypic coral (*Montastraea annularis*) growth on the East Flower Gardens Bank, northwest Gulf of Mexico. *Limnol. Oceanogr.* 28: 228–240.
- Dodge RE, Brass GW. 1984. Skeletal extension, density and calcification of the reef coral *Montastraea annularis*: St. Croix, U.S. Virgin Islands. *Bull. Mar. Sci.* 34: 288–307.
- Furla P, Galgani I, Durand I, Allemand D. 2000. Sources and mechanisms of inorganic carbon transport for coral calcification and photosynthesis. *J. Exp. Biol.* 203: 3445–3457.
- Gilmour J. 1999. Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilisation, larval survival and settlement in a scleractinian coral. *Mar. Biol.* 135: 451–462.
- Hodgson G. 1990. Sediment and the settlement of larvae of the reef coral *Pocillopora damicornis*. *Coral Reefs* 9: 41–43.
- Horta-Puga G. 2003. Condition of selected reef sites in the Veracruz Reef System (stony corals and algae). *Atoll Res. Bull.* 496: 360–369.
- Horta-Puga G. 2007. Environmental impacts. In: Tunnell JW, Chávez EA, Withers K (eds.), *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M Press, pp. 126–141.
- Horta-Puga G, Vargas-Hernández JM, Carricart-Ganivet JP. 2007. Reef Corals In: Tunnell JW, Chávez EA, Withers K (eds.), *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M Press, pp. 95–101.
- Hubbard J, Pocock Y. 1972. Sediment rejection by recent scleractinian corals: A key to palaeoenvironmental reconstruction. *Geol. Rundsch.* 61: 598–626.
- embargo, esto tendría que ser abordado adecuadamente en el futuro.

Agradecimientos

Agradecemos al Acuario de Veracruz AC, por las facilidades para desarrollar el trabajo de campo, especialmente a MA Román, R Martínez y A Zorrilla. Nosotros también agradecemos los comentarios de un revisor anónimo.

- Lasker HR. 1980. Sediment rejection by reef corals: The roles of behavior and morphology in *Montastrea cavernosa* (Linnaeus). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 47: 77–87.
- Lough J, Barnes DJ. 1997. Several centuries of variation in skeletal extension, density and calcification in massive *Porites* colonies from the Great Barrier Reef: A proxy for seawater temperature and a background of variability against which to identify unnatural change. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 211: 29–67.
- Lough J, Barnes DJ. 2000. Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 245: 225–243.
- Medina-Rosas P, Carriquiry JD, Cupul-Magaña AL. 2005. Reclutamiento de *Porites* (Scleractinia) sobre sustrato artificial en arrecifes afectados por El Niño 1997–98 en Bahía Banderas, Pacífico mexicano. *Cienc. Mar.* 31: 103–109.
- Morelock J, Koenig KJ. 1967. Terrigenous sedimentation in a shallow water coral reef environment. *J. Sediment. Petrol.* 37: 1001–1009.
- Nugues MN, Roberts CM. 2003. Coral mortality and interaction with algae in relation to sedimentation. *Coral Reefs* 22: 507–516.
- Pätzold J, Wefer G. 1992. Bermuda coral reef record of the past 1000 years. Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, pp. 224–225.
- Pérez-Vivar TL, Reyes-Bonilla H, Padilla C. 2006. Corales pétreos (Scleractinia) de las Isla Marías, Pacífico de México. *Cienc. Mar.* 32: 259–270.
- Philipp E, Fabricius K. 2003. Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 287: 57–78.
- Rogers CS. 1990. Responses to coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 62: 185–202.
- Smith TM, Reynolds RW. 2004. Improved extended reconstruction of SST (1854–1997). *Jour. Climate* 17: 2466–2477.
- Torres JL, Morelock J. 2002. Effect of terrigenous sediment influx on coral cover and linear extension rates of three Caribbean massive coral species. *Caribb. J. Sci.* 38: 222–229.
- Tunnell JW. 1988. Regional comparison of southwestern Gulf of Mexico to Caribbean Sea coral reefs. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.* 3: 303–308.
- Villaescusa JA, Carriquiry JD. 2004. Calibración de los paleotermómetros de Sr/Ca y Mg/Ca en el coral *Porites* sp. de Isla San Benedicto, Archipiélago Revillagigedo, México. *Cienc. Mar.* 30: 603–618.
- Weber JN, White EW. 1977. Caribbean reef corals *Montastrea annularis* and *Montastrea cavernosa*: Long-term growth data as determined by skeletal X-radiography. In: Frost SH (ed.), *Reefs and Related Carbonates: Ecology and Sedimentation*. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol. 4: 171–179.
- Wesseling I, Uychiaoco AJ, Aliño PM, Aurin T, Vermaat JE. 1999. Damage and recovery of four Philippine corals from short-term sediment burial. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 176: 11–15.

Recibido en abril de 2007;
aceptado en febrero de 2008.