

LOS ARRECIFES CORALINOS DE GOLFO DULCE, COSTA RICA: ASPECTOS GEOLOGICOS

Jorge Cortés

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) y
Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica
San Pedro, Costa Rica.

ABSTRACT: The Holocene growth history of the fringing reef at Punta Islotes, Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica, has been reconstructed based on data obtained from nine core holes and four sediment cores collected along four reef front transects. These cores reveal the thickness of the reef to be at least 9 m. Radiocarbon dates indicate that the reef started to grow about 5500 yr. B.P. over an uneven surface of Cretaceous basalt.

Three reef facies - that are represented by reef zones on the present day reef surface - were recognized: reef-flat branching coral, fore-reef massive coral, and fore-reef talus sediment facies. Accumulation rates of the reef-flat facies range from 1,6 to 2,4 m/ 1000 yr (mean and standard deviation = $1,90 \pm 0,31$), of the fore-reef facies from 0,9 to 8,3 m/ 1000 yr ($3,82 \pm 2,52$), and of the fore-reef talus facies from 0,07 to 0,3m/ 1000 yr.

Holocene growth of Punta Islotes fringing reef can be divided into four stages: A. Initial stage, 5500 - 4000 yr B.P., settling of *Pocillopora damicornis* and formation of a small fringing reef. B. Establishment of the reef, 4000 - 1500 yr B.P., continuous growth of the branching coral facies, initiation of the massive coral facies, and drop in the accumulation rates of the fore-reef talus facies. C. Rapid vertical growth stage, 1500 - 500 yr B.P., accumulation rates of 5 to 8,3 m/ 1000 yr, growth of most of the reef framework. D. Final stage, 500 yr B.P. to the present, decline accumulation rates, first due to an increase in fresh water, and more recently to the presence of terrigenous sediments related to deforestation on the adjacent shores.

Today, the coral reefs in the inner section of Golfo Dulce are totally dead or with very low percentages of live coral. Both, living and dead corals of those reefs are being bioeroded mainly by the boring bivalves, *Lithophaga* spp.

RESUMEN: La historia del crecimiento Holocénico del arrecife marginal de Punta Islotes, Golfo Dulce, costa Pacífica de Costa Rica, se reconstruyó con información obtenida de nueve perforaciones y cuatro núcleos de sedimentos colectados a lo largo de cuatro transectos en el frente del arrecife. Estos núcleos revelaron que el arrecife tiene por lo menos 9 m de espesor, y fechamientos con carbono radiactivo (C^{14}) indicaron que el crecimiento se inició hace 5500 años sobre un sustrato irregular de basalto Cretácico.

Se reconocieron tres facies que están representadas en el arrecife actual: facies de corales ramificados o de bajo arrecifal, facies de corales masivos o de frente arrecifal, y facies de sedimentos de la base del arrecife. Las tasa de acumulación de la facies de corales ramificados tienen un ámbito de 1,6 a 2,4 m/ 1000 años (promedio y desviación estandar $1,90 \pm 0,31$), y las de las facies de corales masivos entre 0,9 y 8,3 m/ 1000 años ($3,82 \pm 2,52$), y las de la facies de sedimentos de la base entre 0,07 y 0,3 m/ 1000 años.

El crecimiento Holocénico del arrecife marginal de Punta Islotes se puede dividir en cuatro etapas: A. Etapa Inicial, 5500 a 4000 años, asentamiento de *Pocillopora damicornis* y formación de un pequeño arrecife marginal. B. Establecimiento del arrecife, 4000 a 1500 años, crecimiento continuo de la facies de corales ramificados, inicio de la facies de corales masivos y caída en las tasas de acumulación de la facies de sedimentos de la base. C. Etapa de crecimiento vertical acelerado, 1500 a 500 años, crecimiento de la mayor parte de la estructura arrecifal. D. Etapa

final, 500 años al presente, decrecimiento en las tasas de acumulación, debido primero a la introducción de agua dulce y más recientemente a la presencia de sedimentos terrígenos asociados a las actividades de deforestación de la cuenca del Golfo.

Hoy día, los arrecifes coralinos de la parte interna del Golfo Dulce están totalmente muertos o con porcentajes muy bajos de coral vivo. Tanto los corales vivos como los muertos están siendo bioerosionados, principalmente por los bivalvos perforadores, *Lithophaga* spp.

INTRODUCCION

La Costa Pacífica de Costa Rica la podemos dividir en tres secciones según la distribución de comunidades coralinas y arrecifes coralinos (Cortés & Murillo, 1985): 1. Sección Norte - Guanacaste y Península de Nicoya; 2. Sección Central -entre el Golfo de Nicoya y la desembocadura del Río Grande de Térraba; y 3. Sección Sur -Península de Osa, Golfo Dulce, Isla del Caño y la Isla del Coco.

En la actualidad la sección Norte solamente contiene comunidades coralinas (CORTES & MURILLO, 1985) y arrecifes muertos (GLYNN et al., 1983). Estos arrecifes murieron durante la Pequeña Edad de Hielo, por enfriamiento de las aguas (GLYNN et al., 1983).

La Sección Central contiene algunas comunidades coralinas y pequeños arrecifes (GLYNN et al., 1983; CORTES & MURILLO, 1985), principalmente en la zona del nuevo Parque Nacional Marino Ballena.

En la Sección Sur se encuentra el mayor desarrollo arrecifal del Pacífico de Costa Rica. Allí se pueden observar arrecifes coralinos vivos, ó recientemente muertos en la Península de Osa (GLYNN et al., 1983; CORTES, 1990b); en el Golfo Dulce (CORTES, 1990b); en la Isla del Caño (GUZMAN, 1986; GUZMAN & CORTES, 1989) y en la Isla del Coco (BAKUS, 1975; GUZMAN & CORTES, en prensa). El mayor desarrollo de arrecifes en la Zona Sur, comparado con el resto de la costa, se debe a la ausencia de surgencia de aguas frías, ricas en nutrientes (GLYNN et al., 1983).

Existen pocos estudios geológicos de los arrecifes coralinos del Pacífico Oriental. En Panamá se han perforado dos arrecifes para dilucidar su historia de crecimiento Holocénico (GLYNN & MACINTYRE, 1977). Introduciendo varillas de acero en la estructura arrecifal, se ha deter-

minado el espesor de arrecifes en: Panamá (GLYNN & MACINTYRE, 1977), Colombia (GLYNN et al., 1982), Costa Rica (GLYNN et al., 1983; GUZMAN, 1986) y Galápagos (GLYNN & WELLINGTON, 1983).

En esta publicación se presentan algunos aspectos geológicos de los arrecifes coralinos del Golfo Dulce, producto de una serie de perforaciones realizadas en un arrecife del área y se comenta sobre las perturbaciones naturales y antropogénicas que están afectando y afectaron en el pasado el crecimiento de los arrecifes coralinos de Golfo Dulce. En una publicación complementaria se discuten los aspectos biológicos de los mismos arrecifes (Cortés, en prensa).

DESCRIPCION DEL AREA

El Golfo Dulce se localiza entre 8°26' y 8°45' N y entre 83°05' y 83°29' W en la parte sur de la costa Pacífica de Costa Rica (Fig. 1). Es un cuerpo de agua semicerrado de origen tectónico, de aproximadamente 50 km de largo por 10 a 15 km de ancho, orientado de NW a SE. La sección interna del Golfo tiene una profundidad máxima superior a los 200 m y es anóxica a partir de los 125 m (RICHARDS et al., 1971). La zona del Golfo Dulce es tectónicamente muy activa (MORALES, 1985; WELLS et al., 1988) y el propio Golfo se considera una cuenca "pull-apart" moderna, donde todavía hay subsidencia (FISCHER, 1980; OBANDO, 1986; BERRANGE, 1987).

Los lados norte y oeste del Golfo Dulce, conocido como la Fila Golfito, están formados por el Complejo de Nicoya y una cubierta de latosol rojizo (BAUMGARTNER et al., 1989; GURSKY, 1989). El lado este del Golfo consiste de tierras bajas de origen aluvial cuaternario, dominado por el río Coto-Colorado y la parte norte de la Península de Burica. El borde sur del

Golfo es la Península de Osa y consiste de lavas ofiolíticas y de sedimentos aluvionales (BERRANGE, 1987, 1989; BERRANGE & THORPE, 1988).

El Golfo Dulce es una de las regiones más húmedas de Costa Rica, recibiendo entre 4000 y 5000 mm de lluvia por año (COEN, 1983). Lluvia todos los meses del año, con un máximo en Octubre -época de lluvia es de abril a noviembre- y un mínimo en enero -época seca es de diciembre a marzo- (HERRERA, 1985; I.M.N., 1989). La temperatura media del aire alrededor del Golfo es de 26,5°C, con un máximo de 35°C y un mínimo de 18°C (I.M.N., 1988). La temperatura del agua superficial oscila entre 28 y 31°C, y la salinidad entre 30 y 32‰. Las aguas profundas tienen una temperatura de 16°C y salinidades cerca de 35‰ (RICHARDS et al., 1971; KUNTZ et al., 1975).

CRECIMIENTO HOLOCENICO

La mayoría de los arrecifes en el Pacífico Oriental están construidos principalmente por corales ramificados (*Pocillopora* spp.) lo cual dificultó las perforaciones, la recuperación de núcleos y la obtención de muestras adecuadas para fechamientos radiactivos. El arrecife marginal de Punta Islotes (Fig. 1) consiste principalmente del coral masivo, *Porites lobata*, lo cual facilitó su perforación, recuperación de núcleos y obtención de material aceptable para fechamiento radiactivo (CORTES et al., en preparación). CORTES y colaboradores, presentan la historia del crecimiento Holocénico más detallada que se conoce para el Pacífico Oriental. En este trabajo se presenta un resumen de estos resultados.

METODOLOGIA

Se perforó un total de 9 huecos a lo largo de 4 transectos en el frente del arrecife coralino en Punta Islotes, utilizando un taladro hidráulico submarino. Veinte muestras inalteradas de *Porites lobata*, recuperadas de varias profundidades dentro de la estructura arrecifal, fueron fechados por Carbono-14, para determinar edades y tasas de acumulación.

Se tomó cuatro núcleos de sedimentos en la base del arrecife, continuando los 4 transectos, usando un tubo de aluminio de 76 mm de diámetro interno, conectado a un vibrador. Posteriormente los tubos se cortaron longitudinalmente para estudiar la composición de los sedimentos y para obtener muestras de corales para fechamiento radiactivo (se usaron 6 fragmentos inalterados de *Pocillopora damicornis*).

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los principales resultados del estudio de la estructura interna del arrecife marginal de Punta Islotes. Los detalles, resultados adicionales y otros comentarios sobre este estudio, se encuentran en CORTES (1990a) y en CORTES et al. (en preparación).

1. Las especies de corales que iniciaron y continuaron el crecimiento del arrecife son las mismas que forman el arrecife actual. Estas son: *Porites lobata*, *Pocillopora damicornis* y *Psammocora stellata*. Estas especies son las principales formadoras de arrecifes del Pacífico Oriental (GLYNN & WELLINGTON, 1983; CORTES & MURILLO, 1985; GUZMAN & CORTES, 1989).
2. El espesor del arrecife oscila entre 2,5 y 9,0 m. Este ámbito es similar al reportado para otros arrecifes de la región, entre 1,0 y 8,3 m (resumen en CORTES, 1990a).
3. La estructura arrecifal se puede dividir en tres facies, que están representadas por zonas arrecifales actuales: facies de corales ramificados o de bajo arrecifal, facies de corales masivos o de frente arrecifal, y facies de sedimentos de la base del arrecife.
4. La facies de corales ramificados tiene tasas de acumulación que oscilan entre 1,6 y 2,4 m/1000 años (promedio de $1,90 \pm 0,31$). En dos arrecifes en Panamá las tasas de acumulación oscilaron entre 1,3 y 7,5 m/1000 años (GLYNN & MACINTYRE, 1977).
5. La facies de corales masivos tiene tasas de acumulación que oscilan entre 0,9 y 8,3 m/1000 años ($3,82 \pm 2,53$). Se pueden reconocer tres períodos: uno inicial lento, $1,2 \pm 0,42$ m/1000 años; uno de crecimiento rápido, 6,5

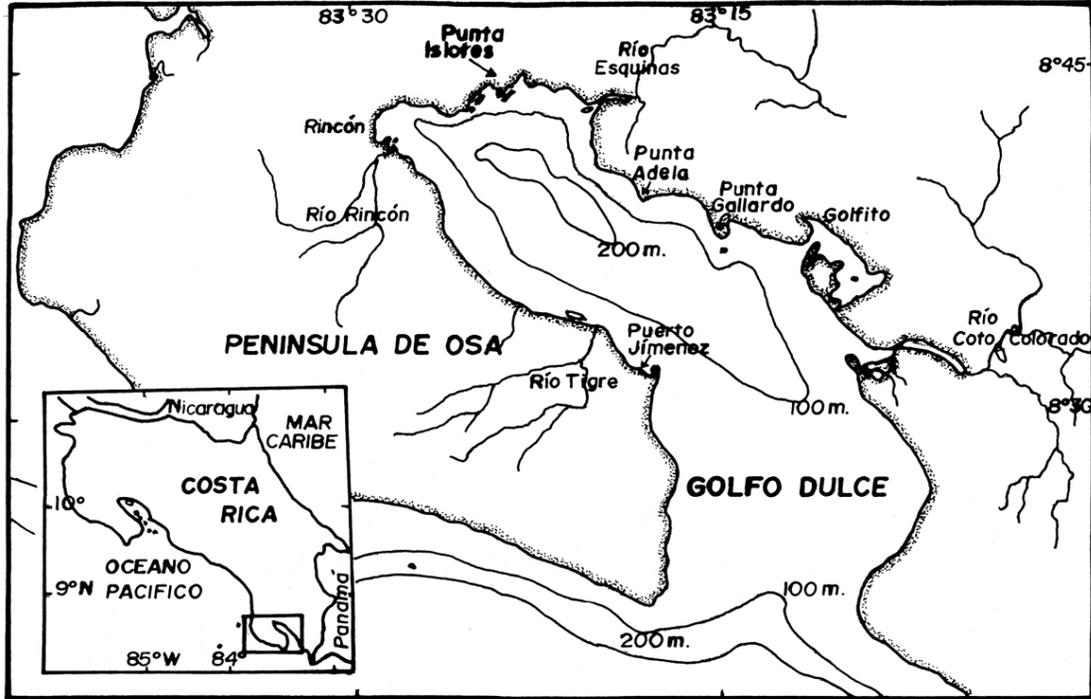


Fig. 1: Mapa del Golfo Dulce, con indicación de las localidades mencionadas en el texto. El arrecife perforado se encuentra en la parte interna del Golfo, al lado de Punta Islotes.

- $\pm 1,66$ m/1000 años; y uno final más lento, $2,3 \pm 0,47$ m/1000 años.
6. Las tasas de acumulación de la facies de sedimentos de la base del arrecife fueron inicialmente altas, hasta 9,3 m/1000 años, pero bajas después de 4000 años B.P. y hasta el presente, 0,067 a 0,29 m/1000 años.
 7. El elevado sustrato basáltico sobre el que creció el arrecife es responsable de su pronunciado relieve topográfico y posiblemente también de los otros arrecifes de la sección interna del Golfo.
 8. La diagenesis temprana en estos arrecifes es mínima ya que ningún coral mostró alteración de su esqueleto aragonítico; además no se encontró evidencia de cementos submarinos y las costras de algas calcáreas eran poco comunes. Lo cual se explica por el reducido oleaje y la ausencia de exposición sub-aérea de este arrecife. Observaciones similares fueron hechas por GLYNN & MACINTYRE (1977) en los arrecifes que ellos estudiaron en Panamá.
 9. El crecimiento Holocénico del arrecife coralino de Punta Islotes se puede dividir en cuatro etapas (Fig. 2):
 - A. Etapa inicial, entre 5500 y 4000 años, cuando *Pocillopora damicornis* se estableció sobre un sustrato basáltico rodeado por cieno. En esa época se formó un pequeño arrecife marginal, el cual aportaba, al frente del arrecife, fragmentos de corales. Estos corales sirvieron de sustrato para el desarrollo de corales masivos. El crecimiento Holocénico de dos arrecifes en Panamá fue estudiado por GLYNN & MACINTYRE (1977) y encontraron que en la Isla Uva, Golfo de Chiriquí, el crecimiento empezó entre 4500 y 5600 años, sobre rocas volcánicas y sedimentos calcáreos arrecifales.
 - B. Etapa de desarrollo del arrecife, entre 4000 y 1500 años. Esta etapa se caracteriza por la acumulación continua de la facies de corales ramificados, el inicio de la acumulación de la facies de corales masivos, con la aparición de *Porites lobata*, y la reducción en la acumulación de sedimentos en la base del arrecife. Al final de esta etapa queda la topografía de la plataforma antecedente totalmente cubierta por crecimiento arrecifal.
 - C. Etapa de crecimiento vertical acelerado, entre 1500 y 500 años. Durante esta etapa se dieron tasas altas de acumulación, entre 5 y 8,3 m/1000 años. Análisis de los isótopos estables y de las tasas de crecimiento *Porites lobata* de ese período, indican condiciones favorables para el crecimiento de corales.
 - D. Etapa final, de 500 años al presente. Esta etapa se caracteriza por un decaimiento en el crecimiento arrecifal asociado a un deterioro en las condiciones ambientales. Análisis de isótopos estables de oxígeno y carbono de corales actuales indican un aumento en la cantidad de agua dulce en la parte interna de Golfo Dulce. En las últimas décadas ha habido un aumento en la sedimentación terrígena relacionado a la deforestación de la cuenca del Golfo.

DESTRUCCION DE LOS ARRECIFES

1. Agua Dulce

Análisis de isótopos estables de carbono y oxígeno de corales de alrededor de 1000 años indican condiciones ambientales en Golfo Dulce más favorables para el crecimiento de corales entonces que ahora (CORTES, 1990a). Estas condiciones ambientales eran similares a las que existen actualmente en la Isla del Caño (GUZMAN & CORTES, 1989) las cuales son óptimas para el crecimiento coralino. Los corales de hace 1000 años de Punta Islotes presentan ámbitos de temperatura (usando la curva para *Porites* de WEBER y WOODHEAD, 1972) de 25 a 31°C, mientras que los corales actuales tienen un ámbito de 28 a 34°C. Temperaturas sobre los 30°C son letales para la mayoría de las especies de corales del Pacífico Oriental (GLYNN et al., 1988; GLYNN & D'CROZ, 1990). Esto significa que la señal isotópica se ve afectada por la presencia de agua dulce que causa un descenso en el $\delta^{18}\text{O}$ (CORTES, 1990a). Esta observación corrobora la hipótesis que los ríos Esquinas y Rincón (Fig. 1) empezaron a fluir hacia la parte interna del Golfo Dulce entre 1000 y 500 años. La evidencia indicada por GARDNER et al. (1987), sobre esto, es

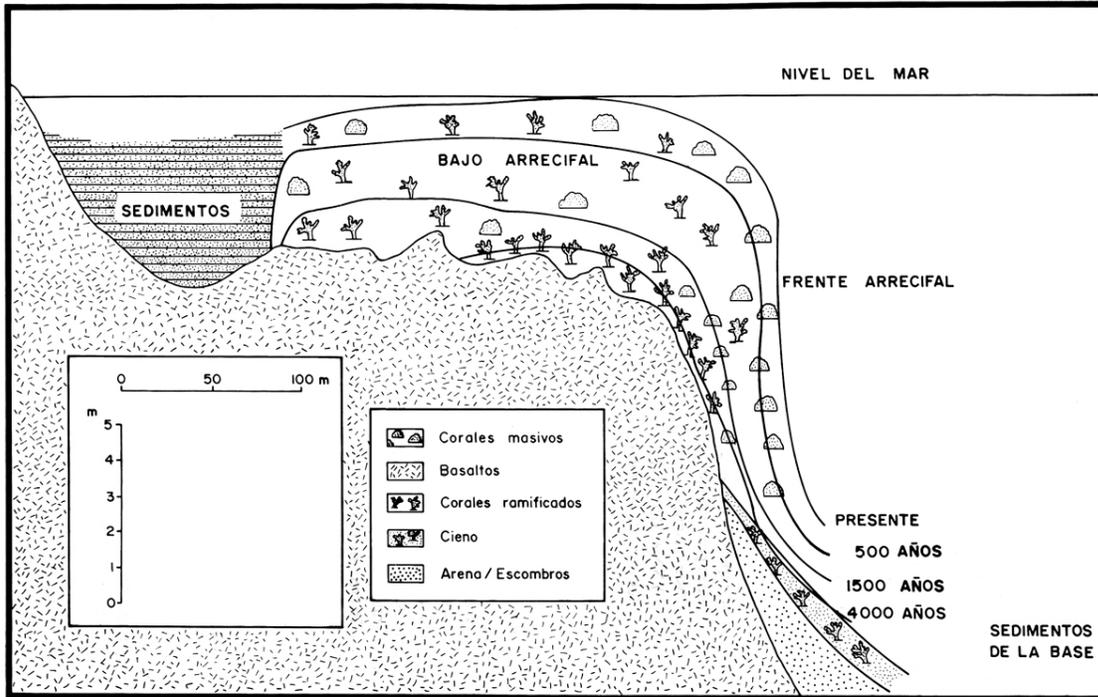


Fig. 2: Corte de la estructura del arrecife de Punta Islotes, con indicación de las edades y las facies que la conforman.

la edad de las terrazas de playa atravesadas y la presencia de tributarios que han cambiado su dirección ("barbed tributaries") y de riachuelos superimpuestos.

Es evidente que la presencia de agua dulce en la parte interna del Golfo Dulce ha afectado el crecimiento de los arrecifes en esa región, pero es la presencia de sedimentos en el agua lo que está matando los corales.

2. Sedimentos terrígenos

La presencia de sedimentos terrígenos en arrecifes coralinos afecta el crecimiento, composición, diversidad y distribución de los corales (CORTES & RISK, 1985; ROGERS, 1990) y por ende el crecimiento de la estructura arrecifal.

En el arrecife de Punta Islotes se detecta la entrada de sedimentos terrígenos entre 5500 y 4000 años, coincidiendo con la inundación de la zona costera durante la transgresión Holocénica (CORTES, 1990a). La presencia de estos sedimentos se apunta como una de las razones por las cuales las tasas iniciales de crecimiento del arrecife de Punta Islotes eran bajas, $1,2 \pm 0,42$ m/1000 años (CORTES et al., en prep.). Observaciones similares se han hecho en el Caribe; durante la inundación de la zona costera hacia el final de la transgresión Holocénica, aumentó la turbidez, decreciendo o deteniendo totalmente el crecimiento arrecifal (ADEY et al., 1977; NEWMANN & MACINTYRE, 1985). En el Golfo Dulce inicialmente las cantidades de sedimentos no fueron tan altas como para detener el crecimiento arrecifal, y es más, posteriormente, hay un aumento significativo en las tasas de crecimiento del arrecife (CORTES et al., en prep.).

La etapa de crecimiento acelerado del arrecife de Punta Islotes se termina hace unos 500 años, con el aumento de agua dulce en la parte interna del Golfo, y se detiene totalmente en las últimas décadas por la presencia de altas concentraciones de sedimentos terrígenos.

Mediante el análisis de las arcillas en sedimentos de varios arrecifes del Golfo, de los ríos, y de los terrenos circundantes, se pudo trazar el origen de los sedimentos que están afectando los arrecifes (CORTES, 1990a). Dos fuentes principales fueron reconocidas, una es el río Esquinas,

identificada por la presencia de illita, y la otra, son los derrumbes en la costa adyacente a los arrecifes, identificada por la presencia de clorita (CORTES & BRASS, en revisión).

3. Bioerosión

La bioerosión, o sea la destrucción biológica de los sustratos calcáreos, es un proceso importante en todos los ecosistemas arrecifales y es realizada por gran cantidad de grupos de organismos (HUTCHINGS, 1986). La bioerosión se puede dividir en externa, hecha principalmente por peces y erizos de mar, y en interna, principalmente por esponjas, poliquetos y bivalvos (HUTCHINGS, 1986).

En algunos arrecifes del Pacífico Oriental, los erizos raspadores *Diadema mexicanum* y *Euclidaris thoursii*, son más importantes que los bioerosionados internos: Panamá y Galápagos (GLYNN et al., 1979; GLYNN, 1988) e Isla del Coco (GUZMAN & CORTES, en prensa). En otros arrecifes, e.g., Isla del Caño (GUZMAN & CORTES, 1989) y Golfo Dulce (CORTES, en prep.) la bioerosión interna es mucho más significativa y es realizada principalmente por bivalvos perforadores del género *Lithophaga*. En el Golfo Dulce los bioerosionadores externos son poco importantes; las densidades de peces raspadores es baja, no se observó ningún *Euclidaria* vivo (aunque se encontraron espinas de este erizo de mar en los núcleos de sedimentos), y se encontraron densidades muy bajas de *Diadema mexicanum* (CORTES, 1990a).

En los arrecifes coralinos del Golfo Dulce, cerca del 100% de los corales masivos contienen *Lithophaga* con densidades que oscilan entre 1 y 200 individuos/100 cm². El segundo grupo más importante de perforadores fueron las esponjas, principalmente la especie *Cliona ensifera*. Con porcentajes bajos de incidencia se encontraron el crustáceo perforador *Upogebia rugosa* y el bivalvo perforador *Gastrochaena rugulosa*.

Algunos corales del Golfo Dulce, especialmente los que están en arrecifes localizados cerca del río Esquinas, se encuentran en un grado avanzado de destrucción. Sin embargo, se predice que estos corales van a ser reducidos totalmente a sedimentos calcáreos en mucho tiempo, debido a

que las densidades de infección de bioerosionadores son bajas en corales muertos.

CONCLUSION

Los arrecifes coralinos del Golfo Dulce son comparables a los del Golfo de Chiriquí, Panamá, los arrecifes más grandes, mejor desarrollados y más antiguos de todo el Pacífico Americano. Desafortunadamente, los arrecifes del Golfo Dulce están en problemas por causa de la presencia de altas concentraciones de sedimentos terrígenos, producto de la deforestación, las malas prácticas agrícolas y la minería en la cuenca del Golfo. En unos pocos años se están destruyendo milenios de crecimiento arrecifal.

AGRADECIMIENTO

La disertación sobre la que se basa la mayor parte de este trabajo se realizó en la Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami. Le agradezco a los doctores Ian G. Macintyre y Peter W. Glynn, su apoyo moral, académico y financiero. Las siguientes personas revisaron la totalidad o por lo menos un capítulo de la disertación: G.W. Brass, C.M. Eakin, R.N. Ginsburg, D. Smith, P.K. Swart y A.M. Szmant. Elsa de la O campos preparó el manuscrito y fue revisado por J.A. Vargas y T. Aguilar.

Las investigaciones de los arrecifes del Golfo Dulce fueron posibles gracias al apoyo económico del Smithsonian Institution, Fulbright, la Universidad de Costa Rica (Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, CIMAR), y al apoyo logístico del Smithsonian Tropical Research Institute.

REFERENCIAS

- ADEY, W.H., MACINTYRE, I.G. & STUCKEN-RATH, R., 1977: Relict barrier reef system off St. Croix: its implications with respect to late Cenozoic coral reef development in the western Atlantic.- Proc. 3rd Inter. Coral Reef Symp. Miami, 2:15-21.
- BAKUS, G.J., 1975: Marine zonation and ecology of Cocos Island, off Central America.- Atoll Res. Bull., 179: 1-10.
- BAUMGARTNER, P.O., OBANDO, J.A., MORA, C., CHANNELL, J.E.T. & STECK, A., 1989: Paleogene accretion and suspected terranes in southern Costa Rica (Osa, Burica, Central America). - 12th Caribbean Geological Conference., St. Croix, U.S. Virgin Island, Aug. 7-11, 1989, Abstract p.9.
- BERRANGE, J.P., 1987: Gas seeps on the margins of the Golfo Dulce pull apart basin, southern Costa Rica.- Rev. Geol. Am. Central, 6: 103-111.
- BERRANGE, J.P., 1989.: The Osa Group: An auriferous Pliocene sedimentary unit from the Osa Peninsula, southern Costa Rica.- Rev. Geol. Am. Central, 10: 67-93.
- BERRANGE, J.P. & THORPE, R.S., 1988: The geology, geochemistry and emplacement of the Cretaceous.- Tertiary ophiolitic Nicoya Complex of the Osa Peninsula, southern Costa Rica. -Tectonophysics, 147: 193-220.
- COEN, E., 1983: Climate. - En: JANZEN, D.H. (ed.): Costa Rican Natural History: 35-46; University of Chicago Press, Chicago.
- CORTES, J. 1990a. Coral reef decline in Golfo Dulce, Costa Rica, eastern Pacific: anthropogenic and natural disturbances.- 147 pags. University of Miami, Coral Gables, Florida. (tesis de doctorado).
- CORTES, J., 1990b: The coral reefs of Golfo Dulce, Costa Rica: distribution and community structure.- Atoll Res. Bull., 344: 1-37.
- CORTES, J. en prensa: Los arrecifes coralinos de Golfo Dulce, Costa Rica: Aspectos biológicos. - Rev. Biol. Trop.
- CORTES, J., en preparación: Bioerosion of *Porites lobata* in the eastern Pacific (Golfo Dulce, Costa Rica).
- CORTES, J. & BRASS, G.W., en revisión: Clay minerals in coral reefs, Golfo Dulce, Pacific Coast of Costa Rica. - Sedimentology.
- CORTES, J. & MURILLO, M.M., 1985: Comunidades coralinas y arrecifes del Pacífico de Costa Rica. - Rev. Biol. Trop., 33: 197-202.

- CORTES, J. & RISK, M.J., 1985: A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. - *Bull. Mar. Sci.*, 36: 339-356.
- CORTES, J., MACINTYRE, I.G. & GLYNN, P.W., en preparación: Holocene growth history of an eastern Pacific fringing reef, Punta Islotes, Costa Rica.
- FISCHER, R., 1980: Recent tectonic movements of the Costa Rica Pacific coast. - *Tectonophysics*, 70: T25-T33.
- GARDNER, T.W., BECK, W., BULLARD, T.F., HARE, P.W., KESEL, R.H., LOWE, D.R., MENGES, C.M., MORA, S.C., PAZZAGLIA, F.J., SASOWSHY, I.D., TROESTER, J.W. & WELLS, S.G., 1987: Central America and the Caribbean. - *En*: GRAF, W.L. (ed.), *Geomorphic Systems of North America*: 343-402; *Geological Society of America, Centennial Special Vol.*, 2.
- GLYNN, P.W., 1988: El Niño warming, coral mortality and reef framework destruction by echinoid bioerosion in the east Pacific. - *Galaxea*, 7: 129-160.
- GLYNN, P.W. & D'CROZ, L., 1990: Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño-coincident coral mortality. - *Coral Reefs*, 8: 181-191.
- GLYNN, P.W. & MACINTYRE, I.G., 1977: Growth rate and age of coral reefs on the Pacific coast of Panama. - *Proc. 3rd Inter. Coral Reef Symp.*, Miami, 2: 21-259.
- GLYNN, P.W. & WELLINGTON, G.M., 1983: Corals and Coral Reefs of the Galápagos Islands (With an annotated list of the scleractinian corals of the Galápagos by J.W. WELLS). - 330 págs.; University of California Press, Berkeley.
- GLYNN, P.W., DRUFFEL, E.M. & DUNBAR, R.B., 1983: A dead Central America coral reef tract: possible link with the Little Ice Age. - *J. Mar. Res.*, 41: 605-637.
- GLYNN, P.W., PRAHL, H. VON & GUHL, F., 1982: Coral reefs of Gorgona Island, Colombia, with special reference to corallivores and their influence on community structure and reef development. - *Anales Inst. Inv. Mar. Punta de Betín*, 12: 185-214.
- GLYNN, P.W., WELLINGTON, G.M. & BIRKELAND, C., 1979: Coral reef growth in the Galápagos: limited by sea urchins. - *Science* 203: 47-49.
- GLYNN, P.W., CORTES, J., GUZMAN, H.M., & RICHMOND, R.H., 1988: El Niño (1982-83) associated coral mortality and relationship to sea surface temperature deviations in the tropical eastern Pacific. - *Proc. 6th Inter. Coral Reef Symp.*, Australia, 3: 237-243.
- GURSKY, H.J., 1989: Presencia y origen de rocas sedimentarias en el basamento ofiolítico de Costa Rica. - *Rev. Geol. Am. Central*, 10: 19-66.
- GUZMAN, H.M., 1986: Estructura de la comunidad arrecifal de la Isla del Caño, Costa Rica, y el efecto de perturbaciones naturales severas. - 179 págs., Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica (tesis inédita).
- GUZMAN, H.M. & CORTES, J., 1989: Coral reef community structure at Caño Island, Pacific Costa Rica. - *P.S.Z.N. I: Mar. Ecol.*, 10: 23-41.
- GUZMAN, H.M. & CORTES, J., en prensa: The coral reefs at Cocos Island, Pacific Costa Rica, after a natural catastrophic event. - *Rev. Biol. Trop.*
- HERRERA, W., 1985: Clima de Costa Rica. - 118 págs.; Editorial U.N.E.D., San José, Costa Rica.
- HUTCHINGS, P.A., 1986: Biological destruction of coral reefs: A Review. - *Coral Reefs*, 4: 239-252.
- I.M.N., 1988: Boletín Meteorológico Mensual, Enero a Diciembre, 1988. Año 12: No. 1-12. Instituto Meteorológico Nacional; Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas, República de Costa Rica.
- I.M.N., 1989: Boletín Meteorológico Mensual, Febrero, 1989. Año 13: No. 2. Instituto Meteorológico Nacional; Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas, República de Costa Rica, 14 p.
- KUNTZ, D., PACKARD, T., DEVOL, A., & ANDERSON, H., 1975: Chemical, physical and biological observations in the vicinity of the Costa Rican Dome (January-February, 1973). - Department of Oceanography, University of Washington, Technical Report No. 321: 88-99 and 173-185.

- MORALES, L.D., 1985: Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores. - *Rev. Geol. Am. Central*, 3: 69-102.
- NEUMANN, A.C. & MACINTYRE, I.G., 1985: Reef response to sea level rise: keep-up, catch up or give up.- *Proc. 5th Inter. Coral Reef Cong., Tahiti*, 3: 105-110.
- OBANDO, J.A., 1986: Sedimentología y tectónica del Cretácico y Paléogeno de la región de Golfito, Península de Burica y Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. - *Rev. Geol. Am. Central*, 5: 119 (abstract).
- RICHARDS, F.A., ANDERSON, J.J. & CLINE, J.D., 1971: Chemical and physical observations in Golfo Dulce, an anoxic basin on the Pacific Coast of Costa Rica. - *Limnol. Oceanog.*, 16: 43-50.
- ROGERS, C.S., 1990: Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62: 185-202.
- WEBER, J.N. & WOODHEAD, P.M.J., 1972: Temperature dependence of oxygen-18 concentration in reef coral carbonates. - *J. Geophysic. Res.*, 77: 463-473.
- WELLS, S.G., BULLARD, T.F., MERGES, C.M., DRAKE, P.G., KARAS, P.A., KELSON, K.I., RITTER, J.B. & WESLING, J.R., 1988: Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. - *Geomorphology*, 1: 239-265.