

ESTUDIOS REGIONALES. ARRECIFES CORALINOS EN VERACRUZ, MÉXICO

RESUMEN

Frente a Veracruz, México, en la mitad interior de la plataforma continental, se levantan arrecifes coralinos que descansan sobre declives compuestos por residuos calcáreos arrecifales. El principal productor de los detritus es un coral madreporario. Conchas de moluscos, algas calcáreas rojas y *Halimeda* son los productores secundarios. Una comparación con sedimentos derivados de arrecifes en los Océanos Pacífico e Índico revela que los residuos coralinos son más abundantes en Veracruz que en otras partes. Los sedimentos que cubren la plataforma continental varios kilómetros más allá de los arrecifes son principalmente lodos, de acuerdo con anotaciones de cartas de navegación, sugiriendo que los arrecifes constituyen la principal fuente moderna de sedimentos gruesos para la plataforma. Las posiciones y formas de los arrecifes parecen estar fuertemente influenciadas por la dirección de llegada de las olas, como también lo están los grandes arrecifes en el occidente del Océano Pacífico.

INTRODUCCION

El Vigésimo Congreso Geológico Internacional, en la ciudad de México, en Septiembre de 1956, ofreció una oportunidad a muchos geólogos para visitar puntos de interés en el país. En esa época el autor deseaba en particular ver los arrecifes cercanos a Veracruz y compararlos con arrecifes previamente estudiados en el occidente del Océano Pacífico y en el occidente del Océano Índico. Los días 28, 29 y 30 de Agosto se dedicaron a observaciones y muestreos a lo largo de las orillas y alrededor de los arrecifes. La ayuda del señor Socorro Torres y su bote "Anita" fueron de especial valor al estudiarlos. Después, las muestras fueron traídas a los laboratorios de la Universidad del Sur de California, donde el Sr. Kelvin Rodolfo realizó muchos análisis.

TOPOGRAFIA

Veracruz fue fundado en una llanura costera baja y arenosa por Hernán Cortés, en 1519, como puerto de aprovisionamiento (Prescott, 1886, I, págs. 210, 242, 459; Pasquel 1956). Ofrecía cierta protección contra ataques por el mar una serie de arrecifes cercanos, encima de uno de los cuales se construyó una fortaleza en una posición dominante, el Castillo de San Juan de Ulúa. Cerca de cuatrocientos años más tarde, un malecón reunió la fortaleza a la ciudad y se construyó un rompeolas a través del Arrecife de Hornos, para completar la bahía (Fig. 1).

Los más detallados sondeos del fondo del mar cercano a Veracruz parecen haber sido realizados por la Armada de los Estados Unidos en 1946 e impresos en la carta 2760 de la Oficina Hidrográfica de la Marina Norteamericana. Estos sondeos apenas son varias veces más densos que los sondeos de un reconocimiento hecho por don Fabio Ali Panzoni en 1806 (Heilprin, 1890) y muestran pocos o ningunos cambios en el intervalo de 140 años. Las curvas de nivel a 10 metros basadas sobre los nuevos sondeos (cartas de la O. H. 2749 y 2760) muestran que la orilla está bordeada por una plataforma continental cuyo declive desciende suavemente hacia un talud hasta la profundidad de unos 220 metros a 35 kilómetros de la orilla. Más allá de ese ángulo, al empinado talud continental llega a profundidades de unos 2,000 metros, donde lo bordea un ancho y profundo alto continental sobre el fondo del Golfo de México (Ewing, Ericson y Heezen, 1958).

Los arrecifes situados frente a Veracruz, al igual que otros frente a Punta Coyol a unos 20 kilómetros al sureste, se levantan de profundidades poco mayores de 40 metros, algo así como la mitad de profundas que la plataforma de algunos arrecifes del Banco de Campeche a 500 kilómetros al este de Veracruz. Según lo observó Heil-

REGIONAL STUDIES. CORAL REEFS OFF VERACRUZ, MEXICO

ABSTRACT

Coral reefs off Veracruz, Mexico, rise above the inner half of the continental shelf and lie atop slopes consisting of calcareous debris from the reefs. The chief contributor of the debris is a madreporarian coral. Mollusk shells, calcareous red algae, and *Halimeda* are secondary contributors. Comparison with reef-derived sediments of the Pacific and Indian Oceans reveals coral debris to be more abundant at Veracruz than elsewhere. Sediment atop the continental shelf beyond a few kilometers of the reefs is chiefly mud according to notations on navigational charts, suggesting that the reefs constitute the chief modern source of coarse sediments for the shelf. The positions and shapes of the reefs appear to be closely controlled by the direction of wave approach, as also are the larger reefs of the western Pacific Ocean.

INTRODUCTION

The Twentieth International Geological Congress at Mexico City in September 1956 provided an opportunity for many geologists to visit points of interest in the country. At this time the writer wanted particularly to see the reefs off Veracruz and to compare them with previously studied reefs of the western Pacific Ocean and the western Indian Ocean. On 28, 29, and 30 August observations and samples were taken along the shore and around the reefs. The aid of Señor Socorro Torres and his boat "Anita" were especially valuable during the reef work. Afterward the samples were brought to the laboratories of the University of Southern California, where Mr. Kelvin Rodolfo made many of the analyses.

TOPOGRAPHY

Veracruz was founded on a low sandy coastal plain by Hernán Cortés in 1519 as a supply port (Prescott, 1886, I, pp. 210, 242, 459; Pasquel, 1956). Protection from attack from the sea was provided by the series of nearby reefs, atop one of which a fortress, Castillo de San Juan de Ulúa, was constructed in a commanding position. About four hundred years later a mole connected the fortress to the city and a breakwater was built across Arrecife Hornos to complete the harbor (Fig. 1).

The most detailed soundings for the sea floor near Veracruz appear to be those made by the U. S. Navy in 1946 and printed on U. S. Navy Hydrographic Office chart 2760. These soundings are only a few times denser than soundings of a survey made by Don Fabio Ali Panzoni during 1806 (Heilprin, 1890), and they show little or no change in the intervening 140 years. Contours at 10-meter interval based upon the newer soundings (H. O. charts 2749 and 2760) show that the shore is bordered by a continental shelf which slopes gently seaward to a shelf-break at a depth of about 220 meters 35 kilometers from shore. Beyond the shelf-break a steep continental slope extends to depths of about 2,000 meters where it is bordered by a broad deep continental rise on the floor of the Gulf of Mexico (Ewing, Ericson, and Heezen, 1958).

The reefs off Veracruz, as well as others off Punta Coyol about 20 kilometers to the southeast, rise from depths shallower than 40 meters, about half as deep as the platform for some reefs of Campeche Bank 500 kilometers east of Veracruz. As observed by Heilprin (1890), the reefs are elongate northeast-southwest, parallel to the

prin (1890), los arrecifes se alargan de noreste a suroeste, paralelamente a las curvas de nivel del fondo y a las crestas de las olas dominantes. La base de los arrecifes parece ser un talud residual cóncavo que casi alcanza un ángulo de 8 grados. La parte superior del talud se compone de anchas e irregulares masas coralinas.

La mayoría de los arrecifes tienen una superficie hundida y alargada con punto más bajo en su lado (suroeste) de barlovento (Fig. 2, A y B). Particularmente hacia el lado (noreste) del mar, el borde de la superficie se eleva sobre el nivel del agua. En este aspecto, ese borde es análogo a la cresta de *Lithothamnium* que caracteriza a los atolones del Pacífico. Pero, el borde de los arrecifes situados frente a Veracruz es un muro de grandes rocas o a lo menos, está cubierto por ellas y las pocas islas apenas son más grandes que los usuales montones de residuos sobre dicho muro. Algunas de las islas tienen tamaño suficiente para el desarrollo de vegetación y pequeñas playas (Fig. 2, C). Según Heilprin, una sola tormenta destruyó el 8 de Septiembre de 1888 casi todo el muro, sumándose después el efecto de otras. Grandes troncos de árboles que destacaban en las orillas de las islas debieron ser arrojados por más recientes tormentas.

En el lado de barlovento de los arrecifes su borde está penetrado por un ancho y profundo canal que tiene la apariencia de una vía de escape y parece evidente que ambos rasgos están relacionados entre sí. Como lo muestra la fotografía aérea de la Figura 2; las olas que llegan a los arrecifes desde el agua profunda se refractan de tal manera que rodean en su mayor parte a la circunferencia de los pequeños arrecifes. Durante esta breve visita en 1956 las olas tenían casi 100 cm de altura en el lado del mar de los arrecifes y después de su refracción unos 30 cm por barlovento. El agua empujada por la presión de las olas cruza los bajos entre las rocas del muro y es empujada hacia la parte ligeramente más profunda del área central del arrecife. El único escape para el agua está a barlovento donde la refracción del oleaje impide que lleguen olas altas; consecuentemente, el agua escurre a través del centro del arrecife por anchos canales hacia la vía de escape por la cual llega al mar abierto por el suroeste. Una relación semejante entre movimientos del agua y la topografía existe en el Atolón de Bikini (von Arx, 1954) y la Isla Johnston (Emery, 1956a), como resultado de la refracción y de la presión de las olas. Curiosamente no se observó tal relación entre los cercanos arrecifes y las olas en un reconocimiento aéreo en Punta Coyol.

Los corales de los arrecifes están dominados por *Acropora* ramificado, *Porites* masivo y grandes corales redondos. La única colección sistemática de corales frente a Veracruz fue hecha por Heilprin, aunque otros corales en distintos puntos del occidente del Golfo de México han sido investigados por Walton Smith (1954), Moore (1958) y otros. Más del 90 por ciento del borde arrecifal en los arrecifes exteriores de la Figura 1 se componen de un vigoroso coral viviente. Sin embargo, en el Arrecife de Hornos de aguas adentro casi todos los corales están muertos y han sido profundamente perforados por anélidos sipunculidos y pelecípodos. Heilprin mencionó que este arrecife estaba compuesto principalmente por estructuras de anélidos serpulidos, pero no se comprobó ese origen del arrecife en 1956, posiblemente por la gran explotación reciente para el rompeolas próximo. En todos los arrecifes son raros los punzantes corales *Millipora*, abanicos de mar y algas calcáreas rojas. Las últimas existen sólo como finas costras sobre corales muertos hasta un metro de la superficie del agua.

Fig. 1. Veracruz y sus cercanos arrecifes. Las curvas están en metros y se basan en sondeos de la carta de la Oficina Hidrográfica 2760 de la Marina Americana. Las anotaciones sobre materiales de fondo fueron tomadas de la misma carta y de un estudio de 1885 (Heilprin, 1890); las últimas son anotaciones simples tales como A, L, AL, R y Co (arena, lodo, arena y lodo, roca y conchas) sin indicación de color o tamaño de grano. El hachurado horizontal discontinuo indica áreas cubiertas por lodo de acuerdo con las anotaciones de la carta. Los puntos y números adyacentes indican muestras que fueron colectadas en Agosto de 1956. Dos muestras, números 8 y 28, vienen de playas a 3.7 y 7.1 Km, respectivamente, al sur del borde del mapa.

bottom contours and to the crests of the dominant waves. The base of the reefs appears to be a concave debris slope reaching an angle of perhaps 8 degrees. The upper part of the slope consists of large irregular coral masses.

Most of the reefs have a shallow saucer-shaped top with a low point on their leeward (southwestern) side (Fig. 2, A and B). Particularly along the seaward (northeastern) side, the rim of the saucer is above sea level. In this respect the rim is analogous to the *Lithothamnium* ridge which is characteristic of Pacific atolls. However, the rim of the reefs off Veracruz is a boulder rampart or at least is capped by one and the few islands are merely larger than usual heaps of debris atop the rampart. Some of the islands are large enough to support vegetation and small beaches (Fig. 2, C). According to Heilprin a single storm on 8 September 1888 threw up much of the rampart, but probably many other storms have added to it. Large tree trunks noted high on the shores of the islands must have been cast up by more recent storms.

At the lee of the reefs the rim is penetrated by a broad deep channel which has the appearance of a spillway. It seems evident that the rim and spillway are related. As shown by the aerial photographs of Figure 2, the waves which approach the reefs from deep water are refracted in such a way as to become wrapped around most of the circumference of the small reefs. During this brief visit in 1956 the waves were about 100 cm high at the seaward side of the reefs and after refraction about 30 cm high in their lee. Water driven by wave pressure crosses the shallows between the boulders of the rampart and is forced toward the slightly deeper middle of the reef area. The only escape for the water is leeward where wave refraction is unable to bring high waves; accordingly, the water flows across the middle of the reef partly within broad channels toward the spillway through which it escapes back to the open sea on the southwest. Somewhat related water movements and topography exist at Bikini Atoll (von Arx, 1954) and Johnston Island (Emery, 1956a) as results of wave refraction and wave pressure. Curiously, aerial examination showed no such relationship of the nearby reefs off Punta Coyol to waves.

The corals of the reefs are dominated by branching *Acropora*, massive *Porites*, and large brain corals. The only systematic collection of corals from off Veracruz was made by Heilprin, although corals elsewhere in the western Gulf of Mexico have been investigated by Walton Smith (1954), Moore (1958), and others. More than 90 per cent of the reef edge of the outer reefs of Figure 1 consist of vigorous living coral. At the inshore Arrecife Hornos, however, almost all the coral is dead and is highly bored by sipunculid worms and pelecypods. Heilprin reported that this reef consisted largely of serpulid worm structures, but no evidence of such reef origin was seen in 1956, possibly because of recent extensive quarrying for the adjacent breakwater. On all reefs stinging *Millipora* corals, sea fans, and calcareous red algae are rare. The latter occur only as thin crusts on dead coral within a meter of the water surface.

Fig. 1. Veracruz and its nearby reefs. Contours are in meters, based on soundings of U. S. Navy Hydrographic Office chart 2760. Notations of bottom materials were taken from the same chart and from a survey of 1885 (Heilprin, 1890); the latter ones are simple notations such as S, M, SM, R, and Sh (sand, mud, sand-and-mud, rock, and shells) with no indication of color or grain size. Horizontal dashed hatching indicates areas which are floored by mud according to the chart notations. Dots and adjacent numbers indicate samples which were collected during August 1956. Two samples, numbers 8 and 28, are from beaches 3.7 and 7.1 km, respectively, south of the map edge.

SEDIMENTOS

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las cartas de navegación usualmente contienen anotaciones acerca de materiales de fondo basadas sobre restos de sedimentos pegados a los plomos que se emplean en los sondeos de reconocimiento. Dentro del área de la Figura 1 hay 44 anotaciones en la carta O. H. 2760 y 67 en una carta hecha en 1885 (Heilprin, 1890). El tipo de distribución de los sedimentos del fondo en ambas cartas es similar y así, las anotaciones de ambas fueron transferidas a la Figura 1 para completar la más detallada presentación posible. Todavía pueden agregarse otras anotaciones más allá de los límites de la figura. El principal sedimento cerca de los arrecifes es arena (casi siempre anotada como arena fina gris). Las áreas más profundas, particularmente hacia el mar, se caracterizan por lodo (anotado como lodo gris con abundantes conchas rotas). La plataforma al noroeste y al sureste de Veracruz también está dominada por lodo, según la carta O. H. 2056.

Las muestras obtenidas en 1956 fueron de fondos más someros que los representados por las anotaciones de las cartas. Contienen poco material más fino que la arena, de modo que sólo fue necesario cernirlas para medir las distribuciones de los granos de arena. Los

SEDIMENTS

BULK CHARACTERISTICS

Navigational charts usually contain notations of bottom materials based upon traces of sediment caught on the tallowed leads used in the sounding surveys. Within the area of Figure 1 are 44 notations on H. O. chart 2760 and 67 on a chart made in 1885 (Heilprin, 1890). The patterns of bottom sediments on both charts are similar, so notations from both were transferred to Figure 1 to provide the most detailed presentation available. Still other notations occur beyond the limits of the figure. The chief sediment near the reefs is shown to be sand (mostly noted as fine gray sand). Deeper areas, particularly those to seaward, are characterized by mud (mostly noted as gray mud and commonly with broken shells). The shelf northwest and southeast of Veracruz is also dominated by mud according to H. O. chart 2056.

Samples obtained during 1956 were from shallower depths than those represented by chart notations. They contain little material finer than sand, so only sieving was needed in order to measure the grain-size distributions. Results are expressed as median diameters in mil-

TABLA I

COMPOSICION DE SEDIMENTOS EN VERACRUZ, MEXICO
COMPOSITION OF SEDIMENTS AT VERACRUZ, MEXICO

TABLE I

Número de muestra Sample Number	Profundidad Depth (m)	Diám. Medio Median Dia. (mm)	σφ φ84-φ16 2	Coef. de Separac. Sorting Coeffic.	Nitrógeno Orgánico Organic Nitrogen (%)	Carbonato de Calcio Calcium Carbonate (%)	Constituyentes Orgánicos % Organic Constituents					
							Coral	Algas Calcáreas Rojas Calcareous Red Algae	Conchas de Molusco Mollusk Shells	Residuos <i>Halimeda</i> Debris	Foramini- nifera	
1	0	0.13	2.95	1.21	0.40	0.015	5.4					
2	0	0.12	3.05	1.18	0.37	0.011	5.4					
3	1	trozos de coral chips of coral										
4	1	0.70	0.52	2.77	2.24	0.038	67.1	60	0	30	0	10
5	0	1.84	-0.88	1.89	1.33	0.026	86.2	35	30	35	0	0
6	0	0.54	0.88	1.49	0.91	0.032	74.5	30	20	50	0	0
7	0	trozos de coral chips of coral										
8	0	0.12	3.00	1.17	0.37	0.011	4.2					
9	0	0.27	1.92	1.87	1.23	0.019	31.7	30	30	20	15	5
10	6	1.32	-0.40	1.44	0.87	0.040	93.3	55	20	10	15	0
11	4	1.26	-0.33	1.72	—	0.043	95.0	70	25	5	0	5
12	3	pequeña muestra small sample						80	10	5	5	0
13	2	pequeña muestra small sample										
14	2	0.95	0.07	1.54	0.86	0.032	94.2	70	15	10	5	0
15	5	0.56	0.83	2.00	1.44	0.042	91.0	55	15	25	5	0
16	3	pequeña muestra small sample						70	10	20	0	0
17	4	0.97	0.05	1.47	0.88	0.039	93.7	60	10	15	15	0
18	4	1.43	-0.52	1.70	1.18	0.039	94.3	60	10	20	10	0
19	2	1.49	-0.58	1.54	0.91	0.030	95.2	80	10	5	5	0
20	2	0.49	1.03	1.54	0.93	0.043	94.8	65	5	5	25	0
21	2	trozos de coral chips of coral										
22	3	0.41	1.38	1.38	0.76	0.031	95.2	65	10	15	10	0
23	3	0.62	0.68	1.63	1.08	0.034	94.4	65	10	20	5	0
24	4	0.33	1.60	1.51	0.89	0.032	95.6	70	10	15	5	0
25	2	0.79	0.34	1.54	0.92	0.033	96.1	20	5	65	10	0
26	0	0.93	0.10	1.67	0.85	0.023	96.6	15	5	75	5	0
27	0	trozos de coral chips of coral										
28	0	0.11	3.14	1.11	0.24	0.014	4.8					

resultados se expresan como diámetros medios en milímetros y unidades phi ($-\log_2$ de diámetro en mm) y como coeficientes de separación y desviaciones standard (Trask, 1932, págs. 70-76; Inman, 1952) en la Tabla I. El porcentaje de nitrógeno orgánico fue determinado por el habitual análisis micro-Kjeldahl y el porcentaje de carbonato de calcio por pérdida de peso al tratarse con ácido clorhídrico diluido. Los resultados obtenidos en muestras individuales se agruparon en categorías de playas no-arrecifales, playas arrecifales (playas bordeadas por arrecifes) y taludes arrecifales (Tabla II).

Las muestras de playas no-arrecifales tienen el grano más fino, mejor separación y el más bajo contenido en carbonato de calcio y nitrógeno orgánico. Su diámetro central en promedio, 0.12 mm, es menor que el promedio para las arenas de la mayoría de las playas oceánicas, en respuesta a los bajos gradientes de las corrientes en la llanura costera y a las pequeñas olas a barlovento de los arrecifes. El examen microscópico mostró que las arenas contienen casi 50 por ciento de fragmentos de vidrio volcánico, mientras el resto consiste principalmente en feldspatos y otros minerales detríticos. Los taludes arrecifales tienen los sedimentos más gruesos del área, aunque en las playas de los arrecifes son también gruesos y tienen el más alto contenido en carbonato de calcio y nitrógeno orgánico. Ambos constituyentes sin duda deben su concentración relativamente alta a la cercanía de los taludes arrecifales a las áreas de producción orgánica sobre los arrecifes. El pequeño contenido de residuo insoluble en ácido (promedio de 5.7 por ciento) es casi de limo y arcilla. Fue probablemente arrastrado hacia el mar con el agua dulce que flotaba sobre el agua marina en tiempos de avenidas de ríos o empujado por ocasionales vientos de altamar. El promedio de 0.036 por ciento de nitrógeno orgánico es razonable para sedimentos de arrecifes, pero apenas es un décimo del contenido en sedimentos de muchas cuencas marinas, tales como las del sur de California (Emery, 1960, pág. 276).

COMPONENTES ORGÁNICOS

Todas las muestras, excepto aquellas de playas no-arrecifales, se componen principalmente de restos de organismos calcáreos. Muchos granos son suficientemente gruesos para permitir la identificación del organismo original. Para facilitar esa identificación, una porción de 1 a 2 gramos fue hervida por unos minutos en solución de Meigen (solución acuosa de casi 5 por ciento de nitrato de cobalto). Este tratamiento tiñe en violeta la aragonita que forma el coral madreporario, la *Halimeda* (alga calcárea verde) y algunas conchas de moluscos. No se tiñen la calcita de las algas calcáreas rojas, los foraminíferos, algunas conchas de moluscos y otros organismos.

El examen microscópico mostró que los corales madreporarios, los moluscos (tanto pelecípodos como gasterópodos), las algas calcáreas rojas y la *Halimeda* son los principales productores de los sedimentos (Tabla I). Los foraminíferos apenas fueron reconocidos en algunas muestras de grano más fino; las espinas y placas de equinoides, las uñas y carapachos de cangrejos y los tubos de anélidos serpulidos se encuentran en cantidades que llegan a menos de 1 por ciento.

Una comparación de las playas de arrecifes cercanos a Veracruz con otras de varias islas del Pacífico (Tabla II) muestra algunas diferencias. Los corales son casi tan abundantes como en Guam y Bikini, pero mucho más que en Hawaii, probablemente porque Hawaii está demasiado al norte para permitir un desarrollo prolífico de corales. Los residuos de algas calcáreas rojas son menos abundantes que en otras áreas bien estudiadas, de acuerdo con lo observado en el campo de menor desarrollo de algas en Veracruz. Los foraminíferos también son menos abundantes, ya que son demasiado pequeños para ser compatibles con arenas gruesas. Las conchas de moluscos rotas son más abundantes en las playas de arrecifes de Veracruz que en otros lugares.

Los componentes orgánicos de taludes arrecifales en Veracruz son también comparados con taludes arrecifales en el Golfo de Eilat, fondos de las lagunas en la Isla Johnston, Guam y Bikini y fondo del Golfo de Persia en la Tabla II. Los organismos de arrecifes son el principal origen de los residuos calcáreos en todos aquellos lugares,

limeters and phi units ($-\log_2$ of diameter in mm) and as sorting coefficients and standard deviations (Trask 1932, pp. 70-76; Inman, 1962) in Table I. Percentage organic nitrogen was determined by standard micro-Kjeldahl analyses, and percentage calcium carbonate by weight loss on treatment with dilute hydrochloric acid. Results obtained for individual samples were grouped into categories of non-reef beaches, reef beaches (beaches bordered by reefs), and reef slopes (Table II).

Samples from non-reef beaches are the finest grained, best sorted, and have the lowest contents of calcium carbonate and organic nitrogen. Their average median diameter, 0.12 mm, is smaller than the average for sands of most ocean beaches, in response to the low gradients of streams of the coastal plain and to the small waves in the lee of the reefs. Microscopic examination showed that the sands contain as much as 50 per cent volcanic glass shards, the remainder consisting mostly of feldspars and other detrital minerals. Reef slopes have the coarsest sediment of the area, although reef beaches are almost equally coarse, and the highest contents of calcium carbonate and organic nitrogen. These two constituents doubtlessly owe their relatively high concentrations to nearness of the reef slopes to the areas of organic production atop the reefs. The small content of acid-insoluble residue (average of 5.7 per cent) is mostly silt and clay. It probably was carried seaward with fresh water floating atop the sea water during times of river floods or was blown out to sea by occasional offshore winds. The average of 0.036 per cent organic nitrogen is reasonable for reef sediments, but is less than one-tenth the content in sediments of many marine basins, such as those of southern California (Emery, 1960, p. 276).

ORGANIC COMPONENTS

All samples except those from non-reef beaches consist chiefly of remains of calcareous organisms. Most of the grains are coarse enough to permit identification of the source organism. To ease the identification, a 1 to 2 gram portion was boiled for a few minutes in Meigen solution (an aqueous solution of about 5 per cent cobalt nitrate). This treatment stains violet the aragonite comprising madreporarian coral, *Halimeda* (a calcareous green alga), and some mollusk shells. Left unstained is calcite of calcareous red algae, foraminifera, some mollusk shells, and most other organisms.

Microscopic examination showed that madreporarian corals, mollusks (both pelecypods and gastropods), calcareous red algae, and *Halimeda* are the chief contributors to the sediments (Table I). Foraminifera were noted in only a few of the fines-grained samples; echinoid spines and plates, crab claws and carapaces, and serpulid worm tubes are present in quantities totalling less than 1 per cent.

Comparison of the reef beaches near Veracruz with those of various Pacific islands (Table II) shows certain differences. Coral is about as abundant as at Guam and Bikini, but is much more than at Hawaii, probably because Hawaii is too far north to permit prolific growth of coral. Debris from calcareous red algae is less abundant than in the other well-studied areas, in accordance with the field impression of lesser growth of the algae at Veracruz. Foraminifera are also less abundant, largely because they are too small to be compatible with the coarse sands. Broken mollusk shells are more abundant at reef beaches of Veracruz than at the other places.

Organic components of reef slopes at Veracruz are also compared with those of reef slopes at the Gulf of Eilat, those of lagoon floors at Johnston Island, Guam, and Bikini, and those of the floor of the Persian Gulf in Table II. Reef organisms serve as the chief source of the calcareous debris at all these places except the Persian Gulf,

TABLE II

COMPARACION DE SEDIMENTOS DE VERACRUZ Y OTROS SITIOS
COMPARISON OF SEDIMENTS FROM VERACRUZ AND ELSEWHERE

Area	Tipo - Type	Número de Muestras Number of Samples	Profundidad Media Average Depth	Diám. Medio Medium Diam. (m)	Coefic. de Separación Sorting Coeffic. (mm)	Nitrógeno Orgánico (%) Organic Nitrogen (%)	Carbonato de Calcio (%) Calcium Carbonate (%)	Constituyentes Orgánicos % Organic Constituents									
								Algas Rojas Calcareous Red Algae	Conchas de Moluscos Mollusk Shells	Restos de <i>Halimeda</i> Debris	Foramínifera Foraminifera	Detritus finos Fine Debris					
Veracruz Southern California ¹	playas no-arrecifales non-reef beaches	4	0	0.12	1.17	0.013	5.0										
	" "	57	0	0.24	1.20	0.003	6.3										
Veracruz Hawaiian Islands ² Guam ² Bikini Atoll ²	playas arrecifales reef beaches	5	0	0.86	1.96	0.028	71.2	34	17	42	4	3	0				
	" "	33	0	0.54	1.38	—	71	9	32	33	0	21	5				
	" "	11	0	0.45	1.41	—	91	35	20	29	6	8	2				
	" "	30	0	0.87	1.51	—	100	28	31	9	2	26	4				
Veracruz Gulf of Eilat ³ Johnston Island ⁴ Guam ⁵ Bikini Atoll ⁶ Persian Gulf ⁷	taludes arrecifales reef slopes	14	3	0.88	1.58	0.036	94.3	61	13	16	10	0	0				
	" "	13	18	0.38	1.59	0.023	64	20	—32—	55	0	13	0				
	lagoon - laguna	62	8	—	—	—	100	45	18	10	1	2	16				
	" "	254	2	0.46	1.73	—	100	13	1	15	11	3	8				
	" "	1000	47	—	—	—	100	35	1	7	43	11	25				
	" "	114	31	0.15	—	—	0.092	74	35	1	60	0	3	1			
	" floor - piso																

¹Emery (1960, p. 181)
²Emery & Cox (1956)
³Emery (1962b)
⁴Emery (1962a)
⁵Emery (1956a)
⁶Emery, Tracey & Ladd (1954)
⁷Emery (1956b)

excepto el Golfo de Persia donde su desarrollo casi tiene lugar *in situ* en el fondo de dicho golfo. La contribución por ciento de los varios organismos muestra una amplia variación, debida a lo menos en parte a diferencias en el promedio de profundidad de las muestras. Sin embargo, es notable que los taludes arrecifales en Veracruz tengan una concentración mucho más alta de residuos de corales que en cualquiera otra localidad. El contenido en carapachos de foraminíferos y residuos no-identificables de grano fino es más bajo que en otros sitios. Un menor contenido en algas calcáreas rojas sólo ocurre en los fondos más profundos de la laguna de Bikini y en el Golfo de Persia. Otros componentes se incluyen dentro de los límites de variación.

CONCLUSIONES

Los arrecifes frente a Veracruz, México, difieren de otros en el Pacífico (Tracey, Cloud y Emery, 1955) por la ausencia de una cresta de algas y de una verdadera laguna. Se parecen más a los arrecifes diseminados que existen dentro de lagunas en grandes atolones y de hecho originalmente fueron clasificados como arrecifes diseminados por Heilprin (1890). También se levantan sobre una superficie relativamente llana, como los arrecifes diseminados dentro de lagunas, aunque en ellos la llanura es una plataforma continental y no el fondo de una laguna. De acuerdo con la ausencia de una cresta de algas, los sedimentos de arrecifes de Veracruz tienen bajo contenido en residuo de algas calcáreas rojas. Los foraminíferos tienen también baja concentración por causa del grosor de los granos. Correspondientemente, los residuos tienen una alta concentración de corales madreporarios y de conchas de moluscos rotas. Ya que las playas de tierra firme sólo tienen arena fina y la plataforma continental, a varios kilómetros de los arrecifes, se cubre casi sólo de lodo, es evidente que dichos arrecifes constituyen la principal fuente de sedimentos arenosos gruesos sobre la plataforma continental.

La gran diferencia en los sedimentos derivados de arrecifes modernos en varias partes del mundo ayuda a prevenirse contra una identificación apresurada de sedimentos derivados de arrecifes en estratos antiguos. Una característica que todos los arrecifes calcáreos tienen en común es su bajo contenido en materia orgánica. Algunos arrecifes antiguos y sus sedimentos asociados contienen petróleo, pero ello resulta solamente de estar rodeados o sepultados por gruesas margas de alto contenido orgánico. Posiblemente ese sepultamiento puede aguardar a los arrecifes cercanos a Veracruz. Los sedimentos que rodean tales arrecifes ahora tienen grano fino y son probablemente ricos en materia orgánica, como lo sugiere el color negro que se ha reportado. Sería interesante, a este respecto, una investigación de la naturaleza de los lodos entre los arrecifes y hacia el mar.

K. O. EMERY.

UNIVERSIDAD DEL SUR DE CALIFORNIA,
LOS ANGELES, CALIFORNIA

where growth is mostly *in situ* on the floor of the gulf. The percentage contribution by the various organisms exhibits a wide range, due at least partly to the differences in average depth of the samples. It is notable, however, that the reef slopes at Veracruz contain a much higher concentration of coral debris than at any other locality. The content of foraminiferal tests and of fine-grained unidentifiable debris are lower than elsewhere. Lower contents of calcareous red algae occur only at the much deeper floors of Bikini lagoon and the Persian Gulf. Other constituents fall within the range of variation.

CONCLUSIONS

The reefs off Veracruz, Mexico, differ from those of the Pacific (Tracey, Cloud, and Emery, 1955) in the absence of an algal ridge and of a true lagoon. They are most similar to the patch reefs present within lagoons of large atolls, and in fact originally were classed as patch reefs by Heilprin (1890). Also like patch reefs within lagoons, they rise above a relatively flat plain, but here the plain is a continental shelf rather than a lagoon floor. In agreement with the absence of an algal ridge, the sediments of the Veracruz reefs have a low content of debris from calcareous red algae. Foraminifera are also of low concentration because of the coarseness of grain size. Correspondingly, the debris contains a high concentration of both madreporarian coral and broken mollusk shells. Since the mainland beaches are of only very fine sand and the continental shelf a few kilometers from the reefs consists mostly of mud, it is evident that the reefs constitute the chief source of coarse sandy sediment atop the continental shelf.

The wide difference in sediments derived from modern reefs in various parts of the world serves as a warning against too hasty identification of reef-derived sediment in ancient strata. A characteristic which all calcareous reefs share in common is a low content of organic matter. Some ancient reefs and their associated sediments are petroleum bearing, but only because they are surrounded by and buried within thick shales of high organic content. Possibly such burial may be in store for the reefs off Veracruz. The sediments surrounding these reefs now are fine grained and probably rich in organic matter, as suggested by their reported dark color. An investigation of the nature of the muds between and seaward of the reefs would be of interest in this regard.

K. O. EMERY

UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA,
LOS ANGELES, CALIFORNIA.

BIBLIOGRAFIA

- EMERY, K. O. 1956a. Marine Geology of Johnston Island and its surrounding shallows, Central Pacific Ocean. *Bull. Geol. Soc. America*, 67:1505-1520.
 — 1956b. Sediments and Water of Persian Gulf. *Bull. American Assoc. Petrol. Geol.*, 40:2354-2383.
 — 1960. *The Sea off Southern California: A Modern Habitat of Petroleum*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1 vol. il.
 — 1962a. Sediments of Gulf of Aqaba (Eilat). in *Professor Commemorative Volume*. New York, MacMillan Publ. Co., 1 vol. il.
 — 1962b. Marine Geology of Guam. *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper* 403-B, 1 vol. il.
 EMERY K. O. & D. C. COX. 1956. Beachrock in the Hawaiian Islands. *Pacific Science*, 10:382-402.
 EMERY, K. O., J. I. TRACEY, JR. & H. S. LADD. 1954. Geology of Bikini and nearby atolls: Pt. 1. *Geology. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper* 260-A, 1 vol. il.
 EWING, M., D. B. ERICSON & B. C. HEZZEN. 1958. Sediments and Topography of the Gulf of Mexico. *Habitat of Oil*, Tulsa, Oklahoma, American Assoc. Petrol. Geol., pp. 995-1053.

BIBLIOGRAPHY

- HELLPRIN, A. 1890. The Corals and Coral Reefs of the western Waters of the Gulf of Mexico. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*, 42:303-316.
- INMAN, D. L. 1952. Measures for describing the size distribution of Sediments. *Jour. Sedimentary Petrology*, 22:125-145.
- MOORE, D. R. 1958. Notes on Blanquilla Reef, the most northerly Coral Formation in the western Gulf of Mexico. *Publ. Inst. Marine Science, University of Texas*, 5:151-155.
- PASQUEL, L. 1956. Predestinación del Puerto de Veracruz. *Hoy*. No. 1,021, Sept. 15:56-57.
- PRESCOTT, W. H. 1886. *History of the Conquest of Mexico, with a Preliminary View of the Ancient Mexican Civilization and the Life of the Conqueror, Hernando Cortes*. New York, John B Alden, Publ., 2 vols. il.
- TRACEY, JR., J. I., P. E. CLOUD, JR. & K. O. EMERY. 1955. Conspicuous Features of Organic Reefs. *Atoll Research Bull., Pacific Science Board, National Academy of Sciences-National Research Council*. 46:1-3.
- TRASK, P. D. 1932. *Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum*. Houston Texas, Gulf Publ. Co., 1 vol. il.
- VON ARX, W. S. 1954. Circulation Systems of Bikini and Rongelap Lagoons. *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 260-B*, pp. 265-273.
- WALTON SMITH, F. G. 1954. Gulf of Mexico Madreporaria. in *Gulf of Mexico, Its Origin, Waters, and Marine Life*, *U. S. Fish and Wildlife Service, Fishery Bull.* 89, pp. 291-295.