

ESTUDIO SEDIMENTOLOGICO EN EL AREA TULUM-CANCUN- ISLA MUJERES, ESTADO DE QUINTANA ROO, MEXICO

J. E. Aguayo C. * R. Bello M. * M. A. del Vecchio C. *
J. Araujo M. * M. A. Basañez L. *

RESUMEN

El área de Tulum-Cancún-Isla Mujeres, en el Estado de Quintana Roo, en la porción oriental de México, es una provincia constituida por sedimentos calcáreos debido a la ausencia de sistemas fluviales provenientes del interior del continente, que aportan sedimentos terrígenos, así como al clima tropical que impera en esta región del Caribe.

El área estudiada es tectónicamente inactiva, y está afectada por corrientes litorales permanentes, acción del oleaje y de las mareas y por el viento dominante del sureste; controlando a los diferentes tipos de sedimentos calcáreos distribuyéndolos en cinco ambientes sedimentarios mayores y varios subambientes, estos son: 1) Complejo arrecifal, desarrollado desde el extremo sur de Isla Cancún hacia el sur de esta provincia. 2) Playa de alta energía en mar abierto, generando gran cantidad de oolitas, depositadas a lo largo de Isla Cancún. 3) Megarrizaduras de fondo, entre el continente e Isla Mujeres. 4) Dunas litorales e oolitas, las cuales conforman a las dos islas, Cancún y Mujeres. 5) Lagunas restringidas formadas durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno, por el depósito de tómbolos o espolones en los extremos sur y norte de Isla Cancún.

Del análisis de esta provincia sedimentaria se obtienen criterios sobre los procesos de erosión de transporte y de depósito, aplicables a análogos antiguos, difícilmente discernibles con los métodos petrográficos tradicionales, debido a la alteración que sufren las rocas durante su litificación o posterior a ella.

ABSTRACT

Tulum-Cancun-Isla Mujeres area, at the Quintana Roo state of eastern Mexico, is a province formed by calcereous sediments, due to the lacking of fluvial systems supplying terrigenous sediments from the continent; and because the tropical climate proper of this Caribbean region.

The studied area is inactive tectonically, and it is affected by the permanent littoral currents, waves, tides and for the southeast winds; all of them control the different calcereous sediments distributed in five major sedimentary environments and subenvironments, these ones are: 1) A reef complex, developed from the southernmost part of Islas Cancun toward the south of this province. 2) A high energy beach in open sea, forming a large amount of oolites, which area deposited along Isla Cancun. 3) Bottom megaripple marks, between the continent and Isla Mujeres. 4) Littoral dunes or eolinites, conforming the two islands, Cancun and Isla Mujeres. 5) Restricted lagoons formed during later Pleistocene and Holocene by the deposit of spits at the eastern and northern portions of Isla Cancun.

* Instituto Mexicano del Petróleo.

From the analysis of this sedimentary province, are obtained criteria about the erosion, transportation, and deposition processes, aplicables to their ancient analogous, which are hard to distinguish by the traditional petrographic methods, due to the alteration of the rocks during their lithification or later on.

INTRODUCCION

El análisis de ambientes sedimentarios del Reciente ha recibido especial atención en los últimos 20 años, debido a la necesidad de interpretar con mayor eficacia sus análogos antiguos. Gracias a ello se han ido estableciendo o revaluando criterios sobre los procesos erosionales, de transporte y de depósito, así como los de litificación, lo cual repercute, no sólo en la investigación básica, sino también en las implicaciones económicas que éstos tienen, particularmente para la Industria Petrolera.

Las costas del Caribe en el Estado de Quintana Roo son importantes sedimentológicamente, puesto que ofrecen una excelente oportunidad para observar y estudiar diversos ambientes de depósitos pleistocénicos y holocénicos gobernados por corrientes litorales permanentes, así como por la acción del oleaje, de las mareas, y por el viento; este último proceso juega un papel muy importante en la formación de eolianitas depositadas a lo largo de la costa del Caribe.

La provincia sedimentaria tiene una accesibilidad excelente en todos los puntos de interés, los cuales están comprendidos en un trayecto de unas cuantas decenas de kilómetros.

Los investigadores de la Subdirección de Tecnología de Exploración del Instituto Mexicano del Petróleo y el M. C. Arturo Carranza E. del Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, visitaron el área con objetivos específicos, para complementar la información ya existente aportada por geólogos mexicanos así como extranjeros; y mostrar con ello, un panorama general de la provincia sedimentológica en la zona comprendida entre Isla Mujeres y Tulum en el Estado de Quintana Roo. Para mayores detalles sobre temas específicos, tales como biozonificaciones, litofacies, relieve, batimetría, hidrología y otros más se recomienda consultar la literatura que se cita en esta publicación.

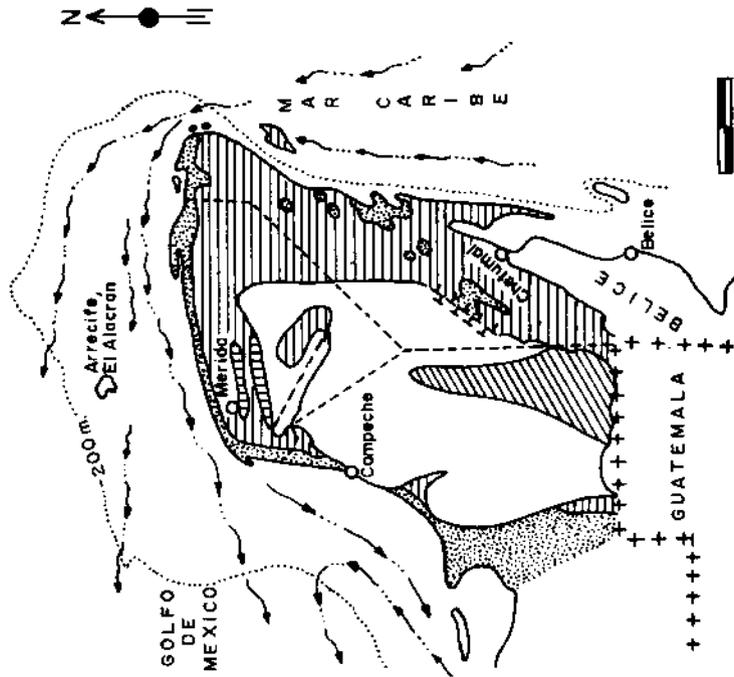
Trabajos previos. Entre los trabajos de investigación más sobresalientes en la Plataforma de Yucatán se pueden mencionar, entre otros, los de Bonet (1956) y Kornicker y Boyd (1962), que estudiaron los arrecifes coralinos, el primero, en la

Sonda de Campeche, y los segundos, en las porciones norte y nor-occidental de la península. Folk (1967) y Folk, Hayes y Shoji (1962) describen y marcan la distribución de diferentes tipos de sedimentos en Isla Mujeres y áreas circunvecinas. Kolk y Robles (1964) analizaron los sedimentos asociados al arrecife El Alacrán. Hoskin (1963) estudió los sedimentos lagunares asociados a crecimientos arrecifales en la porción norte de la Plataforma de Yucatán. Bonet (1967) describe los constituyentes orgánicos del arrecife El Alacrán. Logan (1969) y Logan *et al.* (1969) analizaron los sedimentos carbonatados y arrecifes asociados, así como la distribución de los mismos, en relación a las oscilaciones eustáticas ocurridas durante el Pleistoceno y el Holoceno en las porciones norte y nor-occidental de la plataforma. Ward (1970, 1973, 1974a y 1974b), Ward y Brady (1973), Ward y Wilson (1974), Wilson *et al.* (1969) y Harms *et al.* (1974), estudiaron los ambientes de sedimentación en las porciones oriental y nor-oriental de la Plataforma de Yucatán. Brady (1974) estudió los sedimentos lagunares en la porción noreste de Quintana Roo. Los trabajos de estos autores están citados en Weidie (1974), y la publicación contiene información de toda la provincia de Yucatán sobre tectónica, estratigrafía, biología, geohidrología, arqueología, geoquímica y sedimentología.

Otros trabajos publicados, que versan sobre estratigrafía son los de Bonet (1958a, 1958b, 1959, 1967), Bonet y Butterlin (1962 y 1963), que estudiaron las formaciones del Cenozoico en los Estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. López Ramos (1973) compiló datos de la misma provincia, aportados por Bonet y Butterlin en varias de sus publicaciones, así como de informes inéditos desarrollados por geólogos de Petróleos Mexicanos.

GEOLOGIA REGIONAL

La Plataforma de Yucatán (Fig. 1), es una provincia que ha subsidido lentamente, lo cual se ve reflejado en su secuencia sedimentaria con litofacies repetidas de más de 3000 metros de espesor, depositada desde el Jurásico hasta el Reciente (Fig. 2).



UNIDADES ESTRATIGRAFICAS

	PORCION NORTE	PORCION SUR Y CENTRAL	PORCION ORIENTAL
Holoceno Pleistoceno	SIN NOMBRE (Seds. calcareos)		SIN NOMBRE (Seds. calcareos)
Plioceno	CARRILLO-PUERTO (calizas)		CARRILLO-PUERTO (calizas)
Mioceno		INDIFERENCIADO	ESTERO-FRANCO (calizas y dolomias) BACALAR (calizas y margas)
Oligoceno	SIN NOMBRE (Lutita, caliza, margas)		
Eoceno	CHUMBEC (calizas) PISTE (calizas)	CHUMBEC (calizas) PISTE (caliza, dolomia) XCABAL (caliza, dolomia)	INDIFERENCIADO
PALEOCENO ?	Lutita, margas, caliza.	ICAICHE (caliza, dolomia, evaporita) PETEN (?) (calizas)	ICAICHE PETEN (?) (calizas)
CRETACICO SUP.			

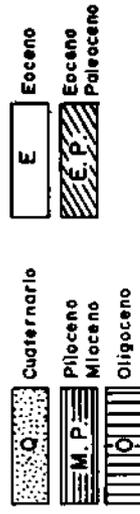
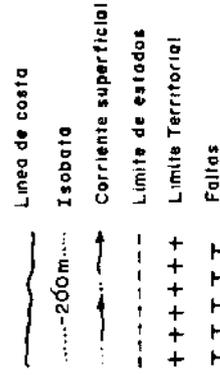


Fig. 1. Estratigrafia regional generalizada en afloramiento del Terciario (segun Butterlin y Bonet, 1963).

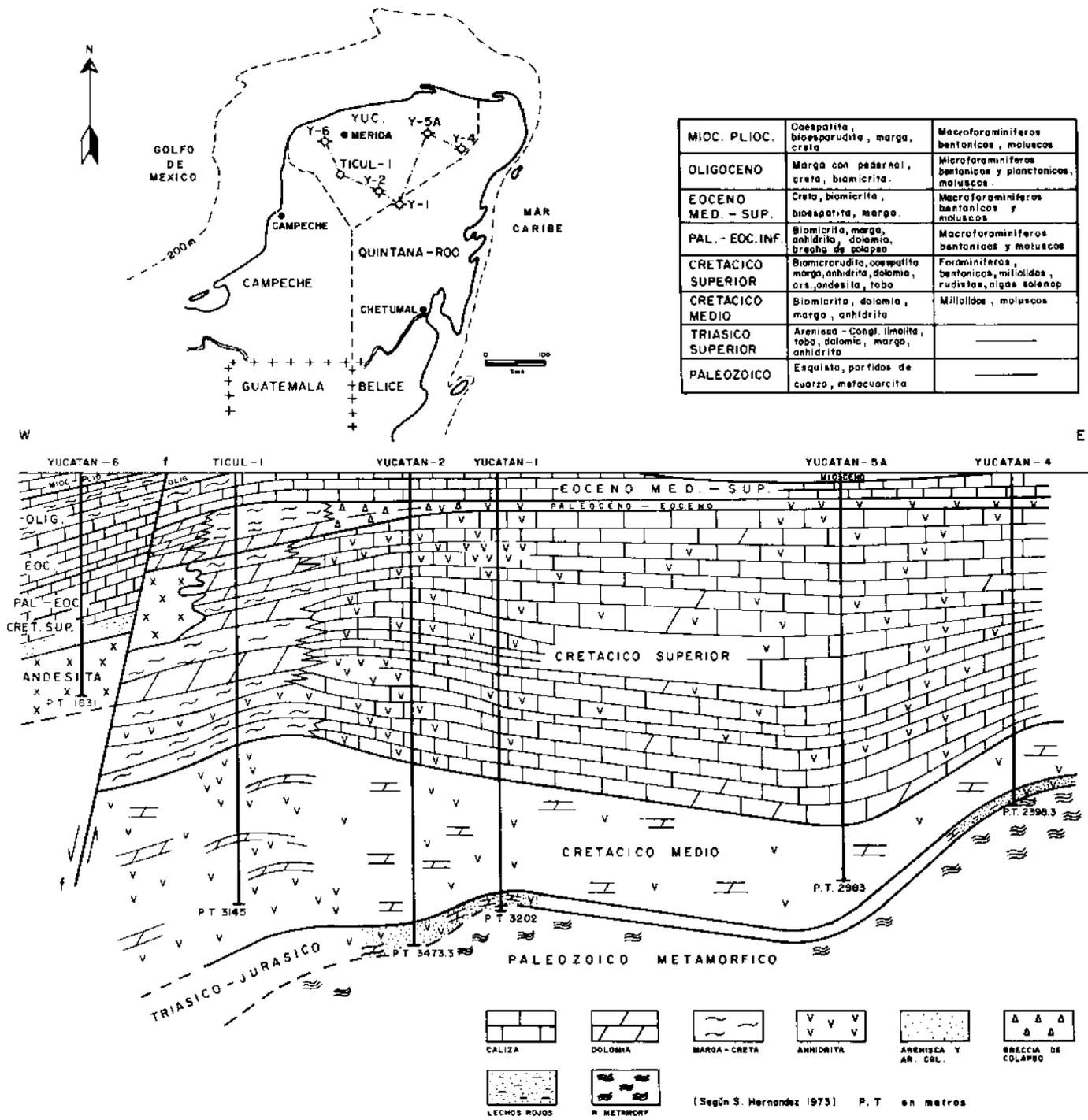


Fig. 2.

El basamento de la Plataforma de Yucatán está formado por rocas de origen metamórfico del Paleozoico (?) en el cual descansan lechos rojos del Jurásico, que a su vez subyacen a una sucesión de rocas carbonatadas y evaporíticas, depositadas sobre la plataforma durante varios períodos de subsidencia lenta aunque aparentemente continua.

El complejo metamórfico de posible edad paleozoica forma un alto estructural en el subsuelo, en la parte nor-oriental de la provincia yucateca. Durante el Jurásico Inferior este complejo metamórfico sirvió de fuente de suministro de sedimentos terrígenos que eran transportados hacia el interior de la plataforma, que estaba caracterizada por ser somera y de condiciones restringidas, por lo que las evaporitas y lutitas carbonosas generalmente están interdigitadas o intercaladas.

La influencia fluvial que tuvo el área se manifiesta al encontrar evaporitas y dolomías asociadas a areniscas submaduras de color rojizo por oxidación, variando a conglomeráticas hacia las porciones topográficas más altas (Pozo Yucatán 4). A principios del Cretácico, la plataforma comenzó a oscilar depositándose facies regresivas y transgresivas. Estas facies son de ambiente de supramarea, intermarea o de inframarea somera. A fines del Cretácico, la porción norte-central de la península empezó a emerger hasta quedar totalmente expuesta, lo que es evidente por el depósito de brechas y conglomerados cuyos clastos son de anhidrita, caliza y dolomía; este horizonte se encontró en los pozos Yucatán 1, 2, 4 y 5A (Fig. 2). Por otro lado, en la parte occidental de la Plataforma de Yucatán las litofacies del Cretácico Superior son diferentes a aquellas encontradas en su porción central-oriental, y están constituidas por cuerpos de margas, dolomías, derrames andesíticos, areniscas y horizontes de bentonita (Pozo Yucatán 6, Fig. 2). Sobre la secuencia sedimentaria descrita se depositó un cuerpo de biomicrita y de lutita conteniendo globigerínidos y calciferúlidos en condiciones de salinidad marina normal, lo cual es opuesto a los sedimentos subyacentes que representan condiciones de sedimentación somera y restringida evaporítica. Entre las facies de mar abierto y las de condiciones restringidas evaporíticas, hubo un período de actividad volcánica, representado por derrames andesíticos.

Durante el Terciario y el Cuaternario, el nivel del mar había oscilado varias veces. Como consecuencia de ello las facies sedimentarias depositadas son características de plataforma somera, así como

restringidas evaporíticas, en ambiente de supramarea. Rocas del Terciario afloran ampliamente en la provincia de Yucatán (Fig. 1). La variación sedimentaria, en general, es arcillo-arenosa en la porción sur-occidental de la plataforma, arcillo-calcareo en la porción sur de la misma provincia y calcárea en la porción nor-oriental.

Los sedimentos carbonatados del Pleistoceno y del Holoceno fueron ampliamente distribuidos en las márgenes litorales de la Plataforma de Yucatán, en una etapa transgresiva, en la que el nivel del mar alcanzó 5 metros arriba del actual. Los sedimentos calcáreos depositados son característicos de ambiente eólico-costero y de playa (Ward y Wilson, 1974). Un ejemplo de ello se tiene en la porción continental, al sur y al noroeste de Puerto Juárez, y en Puerto Morelos, al sur de poblado de Cancún. La edad que reportan Ward y Wilson (*op. cit.*, p. 107) por medio de carbono-14, es de 20,000 a 30,000 años (Fig. 3). Sin embargo, Broecker *et al.* (1968) consideran que estos mismos sedimentos no tienen menos de 125,000 años en base a variaciones de elementos radioactivos contenidos en fragmentos coralinicos.

Ward y Wilson (*op. cit.*, p. 102) sugieren que las costas del Estado de Quintana Roo han sido tectónicamente estables desde el último período interglacial (4000-5000 años A. C.), con base en estudios comparados con otras costas actuales tales como las de Florida, Bermudas y Carolina del Norte, entre otras. Estos autores resumen los eventos eustáticos del nivel del mar durante el Pleistoceno y el Holoceno de la siguiente forma:

1. A fines del Pleistoceno, en el Sangamoniano, el nivel del mar subió 5 metros (tomando como referencia el nivel actual) con el consecuente depósito de sedimentos de playa, lo cual es evidente hacia el sur y hacia el noroeste de Puerto Juárez.
2. En el Wisconsiniano el nivel del mar bajó 2 ó 3 metros con respecto al nivel actual, por lo que la línea de costa progradó mar adentro. Al estabilizarse el nivel se formaron varias terrazas abajo y paralelas a la línea costera actual. El nivel del mar siguió descendiendo lentamente y dejó como testigos a una serie de terrazas escalonadas que fluctúan entre los 10 y los 140 metros debajo del nivel presente (Logan, *et al.*, 1969, p. 31).
3. Durante el período post-glacial hace 18,000 años, el nivel del mar osciló con franca tendencia transgresiva, formándose varias terra-

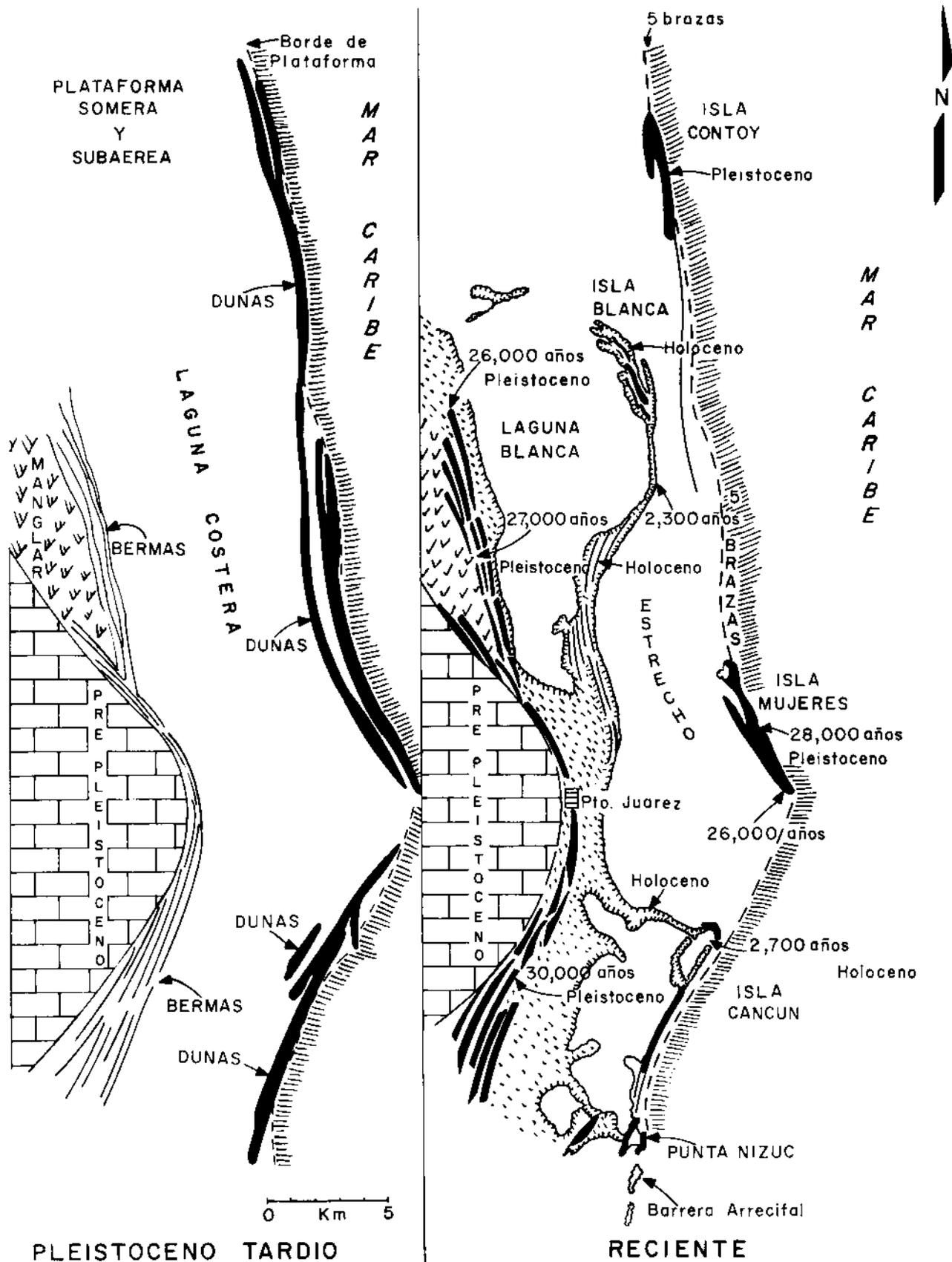


Fig. 3.

zas que según Logan *et al.* (*op. cit.*, p. 33) están entre 60 y 70 metros y entre 30 y 40 metros debajo del nivel del mar actual.

4. Hace 5000 ó 6000 años el nivel del mar estaba 4 ó 5 metros abajo del actual, el cual ha ido ascendiendo gradualmente hasta tener la conformación litoral presente (Fig. 3).

TULUM-PUERTO MORELOS-PUERTO JUAREZ-PUNTA SAM

En este tramo se observan principalmente los sedimentos eolianíticos del Pleistoceno, dunas y arenas de playa del Holoceno.

Tulum. En estas ruinas mayas, que se localizan a 131 Km al sur de la Isla de Cancún y a 95 Km de Puerto Morelos, cercanas a la Carretera Federal 307, se observan sedimentos de playa del Holoceno y eolianitas del Pleistoceno. En Playa Paraíso, 1 Km al sur de Tulum (Fig. 4), los sedimentos recientes están constituidos por arena fina, moderadamente bien clasificada, formada principalmente por corales, y en menor proporción, por microforaminíferos bentónicos, espículas de alcionarios y equinodermos, fragmentos de moluscos, ostrácodos, briozoarios, espículas de esponja y microforaminíferos planctónicos (muestra M-1).

Como se puede observar en la Fig. 8 (sección 14-14'), esta arena procede en su mayor parte de la destrucción de la barrera arrecifal, localizada aproximadamente a 0.5 Km al oriente de las costas de Yucatán en el Mar Caribe.

La barrera arrecifal termina hacia el norte en Punta Nizuc, extremo sur de la Isla de Cancún, a unos 100 m de la orilla de la playa (Lám. I, Fig. 1). Apparentemente, el arrecife termina en este lugar por un lado, al disminuir la profundidad del agua hacia el norte (influencia controladora en el crecimiento del arrecife), ya que dicha profundidad es mayor al sur de Punta Nizuc que hacia el norte (Wilson, Ward y Brady, 1974); y por el otro, debido a la competencia que existe entre el desarrollo de arrecifes y los bancos de oolitas, los cuales son más abundantes al norte de Punta Nizuc, haciendo que el fondo esté en constante movimiento.

Los corales que constituyen estos arrecifes son: *Acropora palmata*, *Diploria* sp., *Diploria labyrinthiformis*, *Montastrea cavernosa*, *Isophyllastrea rigida*, *Porites porites*, entre otros más (Lám. V, Figs. 1-5). Estos corales están asociados con algas clorofíceas del género *Penicillus*, *Halimeda* y *Udotea* (Lám. VI, Figs. 1, 2 y 4).

La *Thalassia testudinum* o pasto marino, es otro tipo de alga que se encuentra en grandes cantidades adherida al fondo marino, en aguas protegidas y restringidas, proporcionando una coloración verde oscuro al agua. Se encuentra ampliamente distribuida en áreas tales como: Puerto Morelos, Puerto Juárez y Punta Sam (Figs. 5, 7).

En Tulum, afloran eolianitas del Pleistoceno formando los acantilados del Mar Caribe, y cuya composición litológica varía de un sitio a otro, de acuerdo a las condiciones locales de depósito. Un ejemplo de ello es el acantilado de 15 metros de altura, en donde se estudiaron las muestras 2 y 3 tomadas en la parte superior e inferior respectivamente del acantilado (Fig. 8, Sec. 13-13'), con los resultados siguientes:

La muestra M-2 está formada por oomicrita con ooides superficiales que varían entre 200 y 500 micras, los núcleos están constituidos por fragmentos de moluscos, microforaminíferos bentónicos y planctónicos; en menor proporción placas de algas clorofíceas (*Halimeda*. Lám. IV, Figs. 1 y 2).

La muestra M-3 es una ooespatita pobremente lavada y está cementada con una generación de calcita tipo menisco. Este cemento precipita en el contacto de los aloquímicos en condiciones vadosas durante la percolación de agua meteórica (Lám. III, Fig. 1). Las oolitas son superficiales y varían entre 250 y 500 micras, sus núcleos son pellas, ooides, fragmentos de moluscos, algas coralíneas y microfaraminíferos planctónicos y bentónicos.

Puerto Morelos. Se encuentra situado a 36 Km al sur de Cancún. En esta localidad se puede apreciar una cantera que está expuesta a la orilla de la Carretera Federal 307, en el entronque de la desviación a Puerto Morelos (Fig. 5).

La cantera está constituida por calizas coquinoideas formadas en ambiente somero de playa, en la que se observan buenos ejemplos de bioespatita, bioesparadita y ooespatita, con estratificación cruzada de ángulo muy bajo, buzando hacia una sola dirección (Lám. I, Fig. 3).

Esta coquina se compone esencialmente de fragmentos de conchas y moluscos y de corales mal clasificados, considerada por Butterlin y Bonet (1963) como parte de la Formación Carrillo Puerto del Terciario Superior. Esta formación aflora al oeste y al sur del poblado del mismo nombre. La muestra M-4 colectada en este lugar, es una bioespatita oolítica mal clasificada, cementada con cristales coesos y equidimensionales, tal vez de calcita hipermagnésiana. Los constituyentes aloquí-

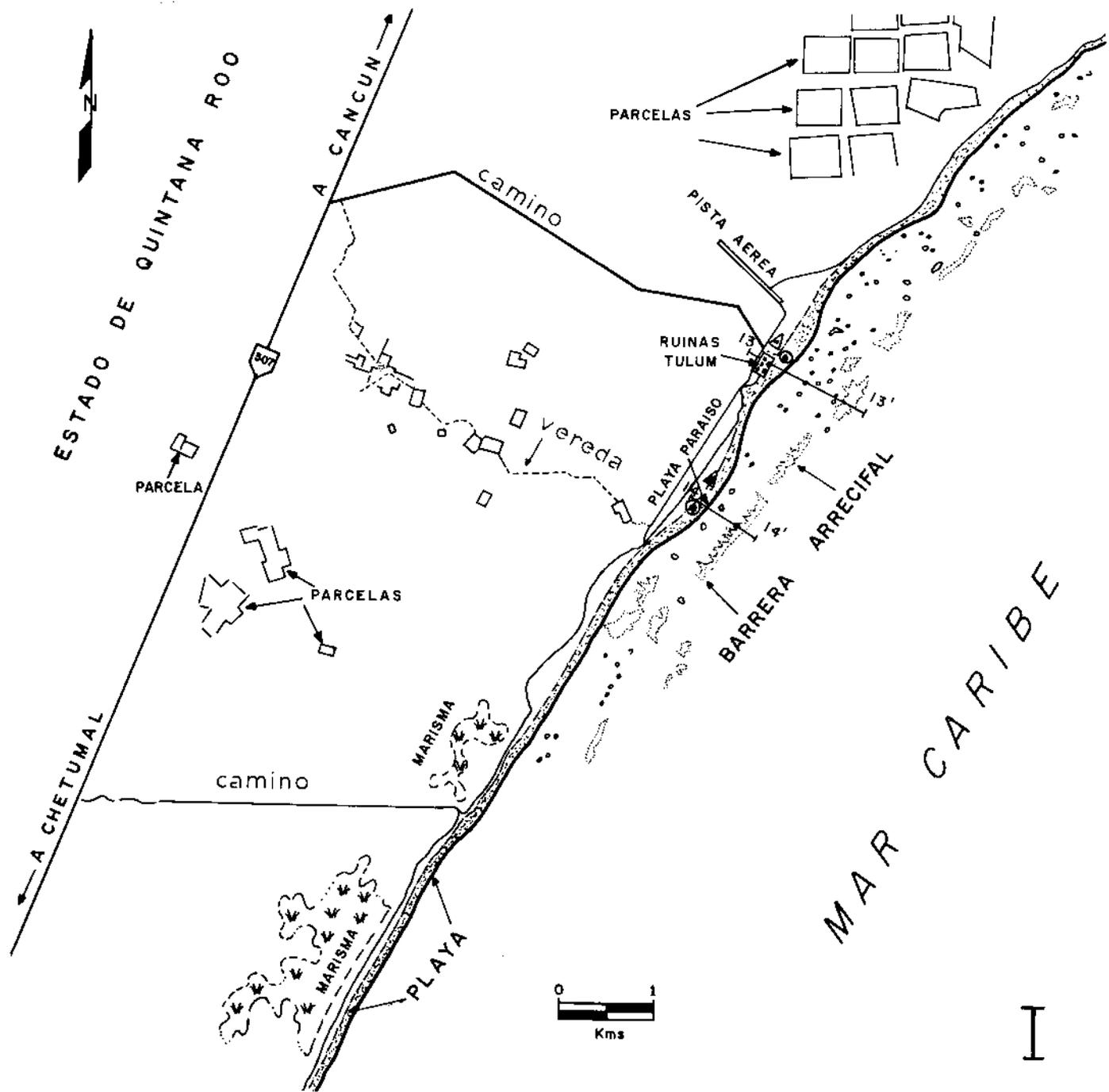
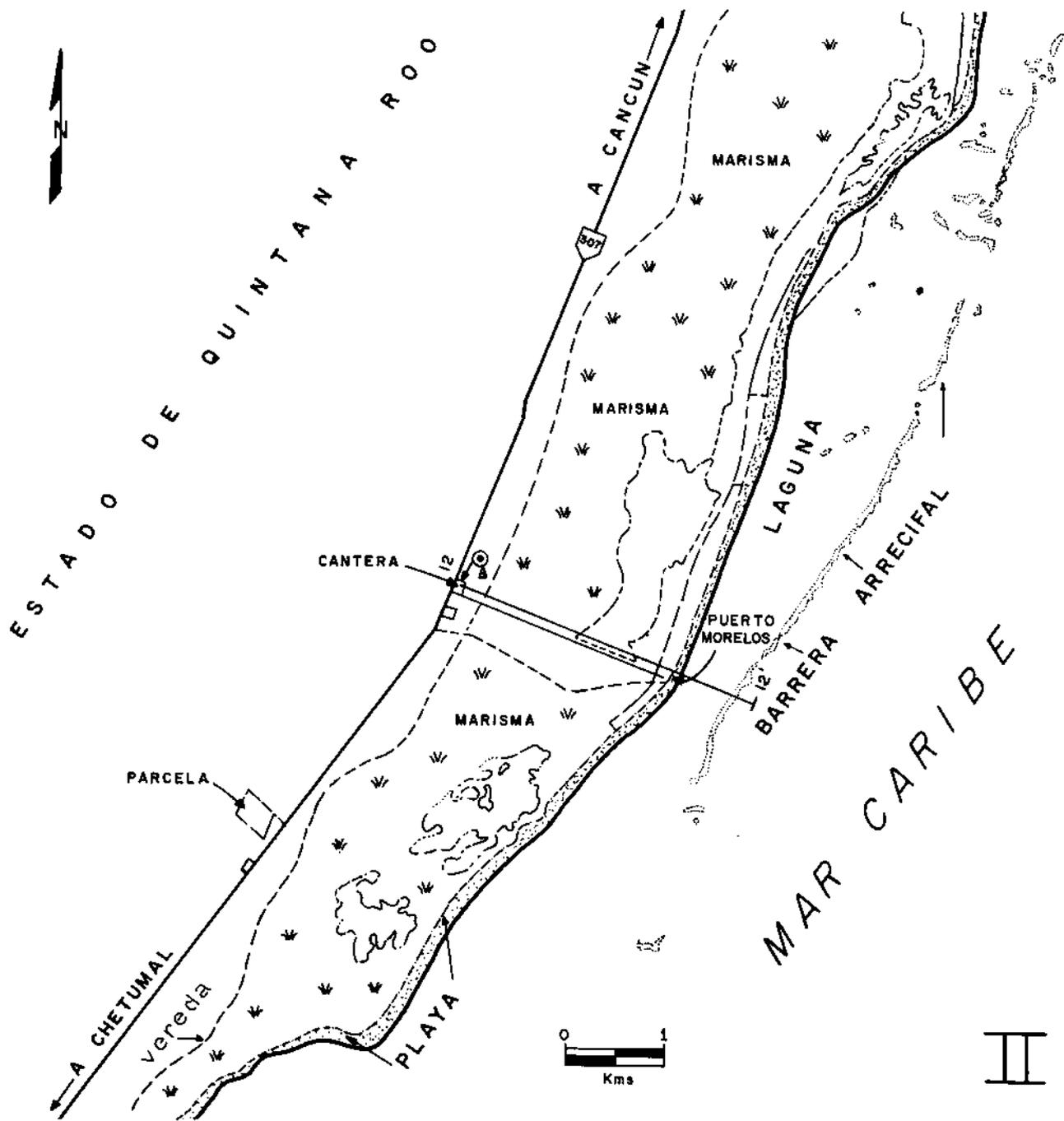


Fig. 4.



ZONA PUERTO MORELOS

Fig. 5.

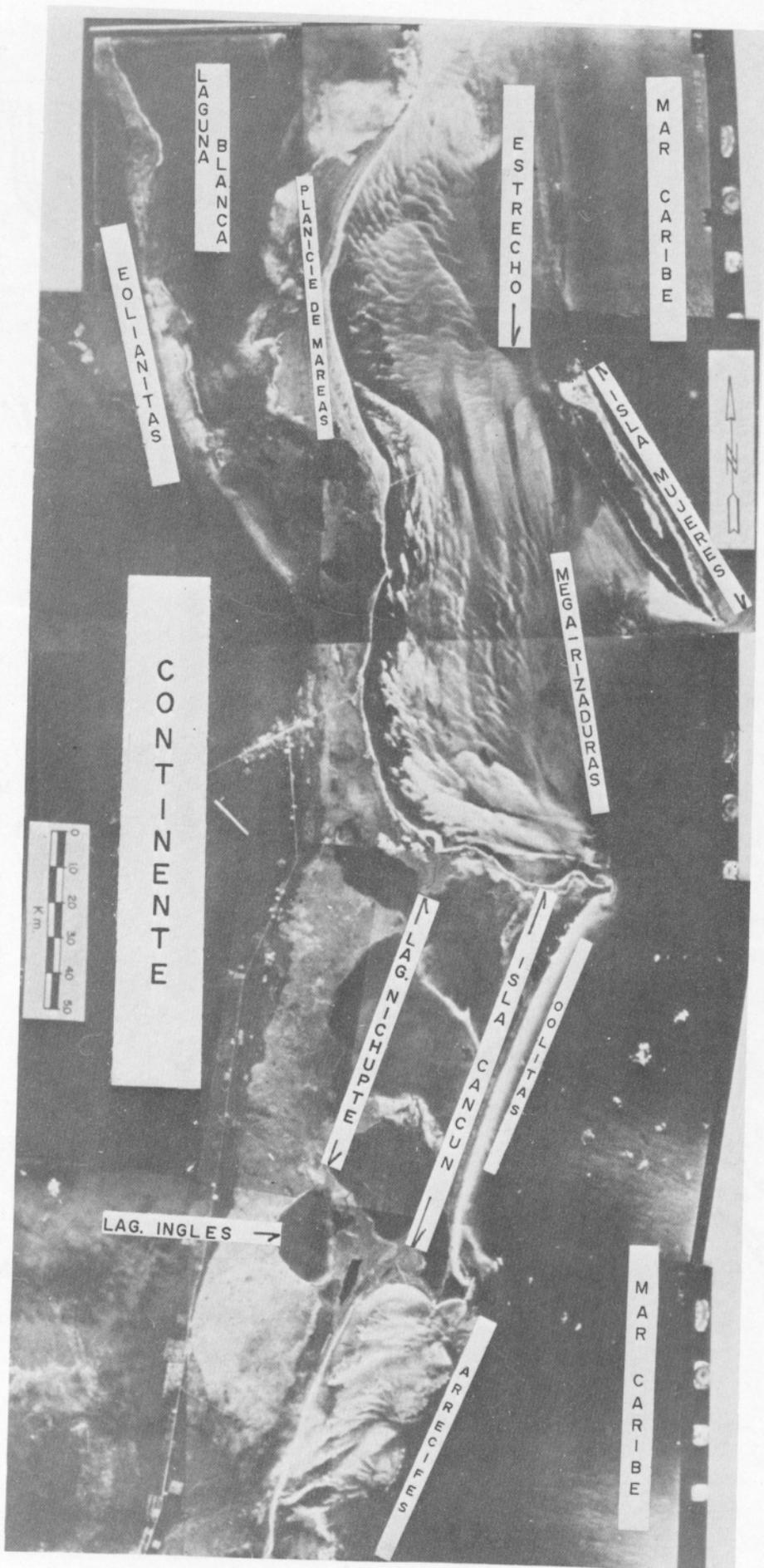


Fig. 6.

micos están formados por fragmentos de algas clorofíceas, corales y moluscos (Fig. 8, sección 12-12').

Puerto Juárez. En este trayecto se observan depósitos de eolianitas pleistocénicas, dunas y arenas oolíticas holocénicas, a lo largo del estrecho sobre las zonas de post-playa y de playa, respectivamente (Fig. 7).

Puerto Juárez queda localizado a 3 Km al NE de la colonia del mismo nombre, por la Carretera Federal 180, que comunica a este lugar con la Ciudad de Valladolid y Mérida.

En este punto se colectaron las muestras 5, 6 y 7 (Figs. 7 y 8, sección 6-6'), que corresponden a una eolianita, duna y arena de playa, respectivamente; realizándose el estudio petrográfico de las dos primeras y granulométrico de la última. Los datos granulométricos de las muestras estudiadas están resumidos en la Fig. 9.

La eolianita (muestra M-5) está formada por ooides moderadamente clasificados; los ooides son superficiales y varían entre 350 y 600 micras de diámetro, cementados posiblemente con calcita hiper magnesiana. Esa clasificación textural se debe a la influencia eólica que actuó sobre los sedimentos de playa, los cuales fueron transportados y acumulados selectivamente en forma de dunas, y éstas posteriormente se estabilizaron.

Los sedimentos de la duna del Holoceno (Muestra M-6) se encuentran sobre las eolianitas, y consisten de ooides superficiales bien clasificados que varían entre 300 y 350 micras. Estos aloquímicos fueron micritizados por la acción de algas perforantes, posiblemente en condiciones subacuosas, los núcleos son misceláneos, y están constituidos por fragmento de moluscos, corales, peleotoides y microforaminíferos bentónicos.

Los depósitos de playa (muestra M-7) están formados por arena fina bien clasificada, de oolitas fuertemente micritizadas, derivadas de la erosión de las oolianitas pleistocénicas y de los bancos oolíticos holocénicos, cuyos constituyentes están bien preservados. Estos aloquímicos aparentemente provienen de la porción oriental de Isla Cancún, y son transportados por las corrientes litorales hacia el norte siendo depositados a lo largo de las costas occidentales y orientales del estrecho.

Punta Sam. Localizada a 5 Km al norte de Puerto Juárez, constituidas por sedimentos eólicos y arena de playa del Reciente (Fig. 7).

Los sedimentos eólicos (muestra M-19) están

formados por arena mediana, moderadamente clasificada, constituida principalmente por oolitas y en menor cantidad de fragmentos de corales, moluscos, ostrácodos y equinodermos, además de microforaminíferos bentónicos y planctónicos. Por otro lado, los depósitos de playa (muestran M-20) están formados por arena mediana bien clasificada, constituida por oolitas y en menor porcentaje, fragmentos de corales y equinodermos, así como de microforaminíferos bentónicos y planctónicos (Figs. 7 y 8, sección 5-5').

ISLA CANCUN

La isla Cancún se encuentra localizada en la costa noreste de la Península de Yucatán, aproximadamente a 10 Km al SE de Colonia Puerto Juárez, Edo. de Quintana Roo y tiene una orientación general NE-30°, midiendo aproximadamente 13 Km de largo por 0.5 Km de ancho. Esta unida a la parte peninsular por medio de unos espolones situados en los extremos norte y sur de la isla. (Figs. 6 y 7).

Entre la península y la isla se encuentra una laguna parcialmente cerrada por los espolones; éstos están situados en los extremos de esta, los cuales restringen la circulación de la laguna en su interior.

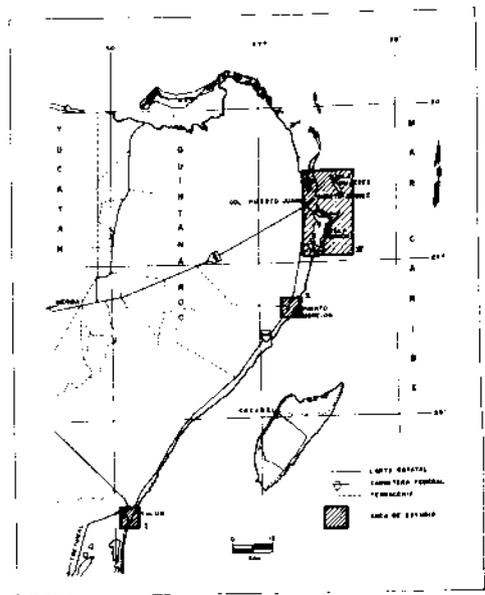
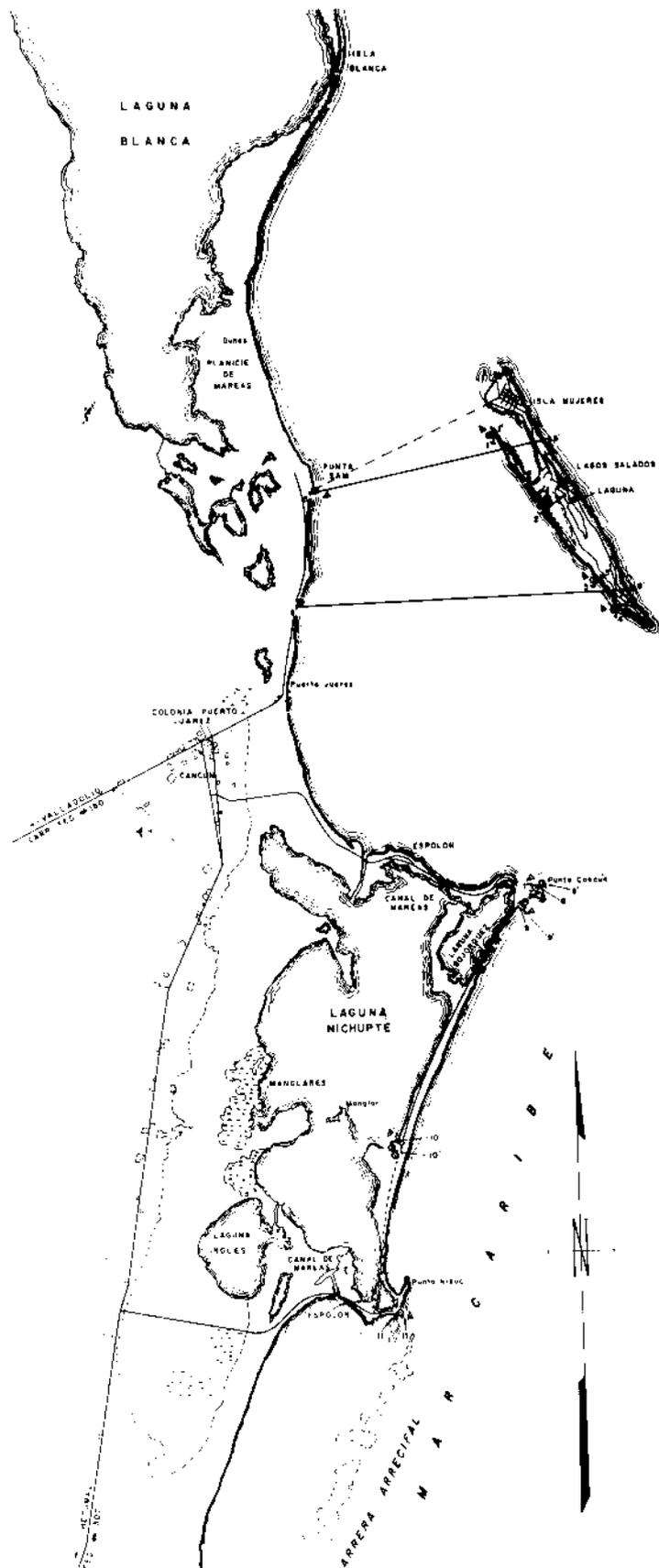
Según Ward y Wilson (1974) las partes principales de Isla Cancún corresponden a remanentes de crestas de dunas pleistocénicas, las cuales se depositaron cerca del borde externo de una terraza situada actualmente a 10 metros de profundidad, la cual se formó durante un descenso del nivel del mar, que ocurrió probablemente en la etapa temprana de la regresión wisconsiniana ($\pm 30,000$ años).

Posteriormente, durante la transgresión holocénica se formaron los espolones o tómbolos en ambos extremos de la isla, acumulándose además dunas en el extremo oriental del cinturón eolianítico del Pleistoceno.

La plataforma continental es estrecha al sur de la isla y está controlada por una serie de bloques fallados normalmente; los sedimentos se depositan actualmente en un ambiente lagunar, protegidos por una barrera arrecifal. Al norte, los sedimentos se acumulan en dunas y bermas en la zona litoral a lo largo del estrecho (Ward y Wilson, 1974).

En Isla Cancún se tienen 3 tipos principales de ambientes depositacionales:

(1) Ambiente de playa (2) Ambiente de laguna abierta o estrecha (3) Ambiente de laguna restringida y protegida.



CROQUIS DE LOCALIZACION DE LAS AREAS ESTUDIADAS

Páramo de
 Terrestre Permeable
 Canal de Intercambio
 Vaseo
 Laguna
 Manglares
 Duree y Brincos
 Zona de Muestreo
 Sección Ecuatorial
 Muelle
 Aeropuerto

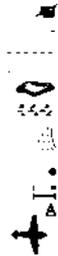


Fig. 7.

DIAGRAMAS ESQUEMATICOS

ESCALAS APROXIMADAS

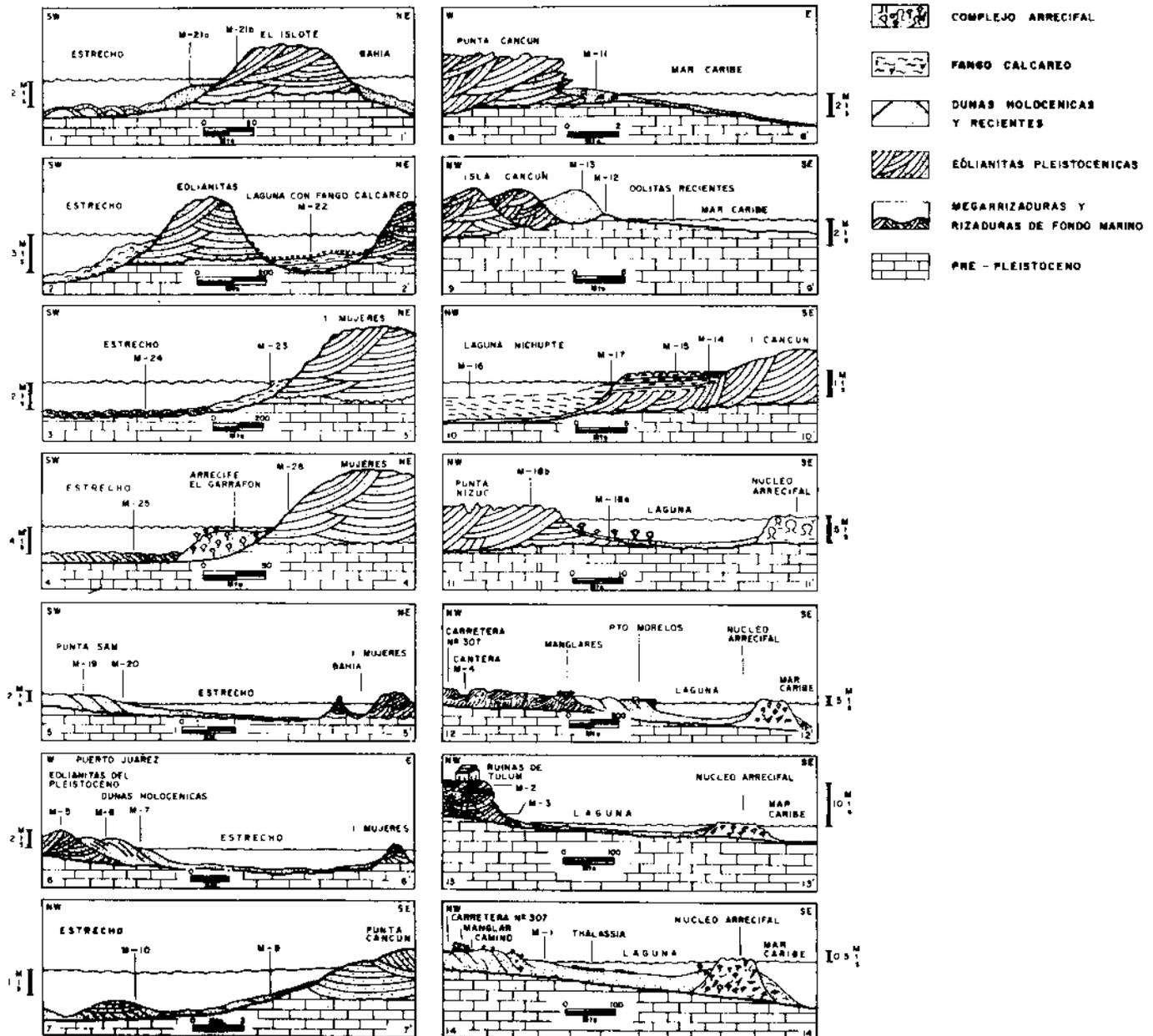


Fig. 8.

Ambiente de playa. Se presenta a todo lo largo de la costa oriental de la isla, donde el impacto del oleaje del Mar Caribe es casi normal a la línea de costa.

Las muestras 12 y 13 se colectaron en este litoral, al sur de Punta Cancún. La primera consiste de arena fina muy bien clasificada, formada casi en su totalidad de oolitas y en menor proporción fragmentos de corales (Fig. 9).

Esta playa forma parte de un cinturón de sedimentos oolíticos que corre paralelamente a la costa del Mar Caribe, desde Isla Cancún hasta Isla Blanca (Figs. 6, 7 y 8, sección 9-9').

Según Ward (1974a y b) las oolitas en este ambiente se forman actualmente frente a la costa de Isla Cancún, a menos de 10 metros de profundidad. El lugar es de alta energía, dado que el área es barrida por el oleaje permanentemente, de ahí la buena clasificación del sedimento.

Asociadas a las playas, en la zona de post-playa, se observan dunas holocénicas (muestra M-13), que consisten de oolitas bien clasificadas e incipientemente cementadas con calcita hiper magnesiana, según se pudo observar por el hábito cristalino que presenta alrededor de los aloquímicos. Los ooides varían en tamaño entre 100 y 200 micras de diámetro. Las partículas aloquímicas están micritizadas debido a algas perforantes (Lám. III, Fig. 3).

La arena tomada de la zona de rompientes de Punta Cancún (muestra M-11), está constituida por material arenoso muy grueso, moderadamente bien clasificado. Contiene en su totalidad fragmentos biógenos, sobre todo de corales y espículas de alcionarios, con menores cantidades de briozoarios, espículas de equinodermos y microforaminíferos planctónicos y bentónicos (Fig. 9).

Se cree que el origen de estas arenas es en gran parte debido a la destrucción de material depositado mecánicamente por el hombre en la zona de rompientes, con el fin de evitar la erosión de las eolianitas pleistocénicas que forman la punta, ya que éstos están en la base de la construcción del Hotel Camino Real (Fig. 7 y 8, sección 8-8').

Los sedimentos de playa de Punta Nizuc (muestra M-18a) están formados por arena mal clasificada, la cual está constituida por fragmentos de corales, y menor cantidad de moluscos, briozoarios, espículas de esponjas, alcionarios y equinodermos, microforaminíferos bentónicos y escasas oolitas.

Este material proviene tanto de la barrera arrecifal que se encuentra al S-SW de Punta Nizuc así

como de los corales en las cercanías de dicho lugar (Figs. 7 y 8, sección 11-11').

Asociadas a estas playas, se encuentra un depósito de eolianitas del Pleistoceno (muestra M-18b) que conforman a la isla, éstas están formadas por oomicrita fosilífera, constituida por oolitas superficiales que varían entre 100 y 200 micras de diámetro, así como por fragmentos de moluscos, microforaminíferos bentónicos y corales. Estos depósitos también suministran sedimentos a la playa adyacente.

Ambiente de estrecho o laguna abierta. El muestreo se llevó a cabo en las rizaduras y megarrizaduras del fondo, en el extremo sur del estrecho (Figs. 7 y 8, sección 7-7').

El depósito sedimentario está influenciado por la corriente del Caribe que pasa a través del estrecho entre Isla Mujeres y la península.

La muestra M-9 tomada de las rizaduras del piso marino consiste de arena fina, muy bien clasificada, formada principalmente por corales y microforaminíferos bentónicos; en menor proporción, moluscos, ostrácodos, espículas de alcionarios y equinodermos, microforaminíferos planctónicos y escasas espículas de esponjas.

Gran parte de los sedimentos probablemente provienen de la barrera arrecifal que se encuentra al sur de Isla Cancún y son transportados por la corriente del Caribe y depositados en el estrecho.

La muestra M-10 fue tomada de una megarrizadura en la costa del estrecho adyacente al espolón norte. Consiste de arena fina, moderadamente bien clasificada. A diferencia de la muestra 9, ésta se compone en su totalidad de oolitas, con menores cantidades de fragmentos biógenos, tales como microforaminíferos bentónicos, ostrácodos, espículas de alcionario, esponjas y de equinodermos, así como corales.

El material parece provenir principalmente del cinturón oolítico holocénico de la costa oriental de la isla, y de las eolianitas pleistocénicas. El sedimento resultante es transportado hacia el NW por la corriente del Caribe (Figs. 7 y 8, sección 7-7').

Ambiente de laguna protegida y restringida. Entre Isla Cancún y la Península de Yucatán se encuentran una serie de lagunas, siendo la mayor de ellas la Laguna Nichupte.

Esta se encuentra protegida del Mar Caribe por Isla Cancún, y su circulación es restringida debido a los dos espolones situados en los extremos norte y sur de la isla (Figs. 6 y 7). La única comunica-

ción directa que existe entre la laguna y el mar son unos canales de marea angostos que atraviesan a dichos espolones.

La laguna principal contiene bancos calcáreos de forma elongada, los cuales la dividen en tres lagunas menores interiores, casi aisladas una de la otra. Estos bancos se forman a expensas del crecimiento de manglares, y su localización está controlada por las terrazas y dunas pleistocénicas subyacentes. Dichos bancos aíslan a las pequeñas lagunas Inglés y Bojórquez de la parte principal de la de Nichupte (Fig. 7).

En la parte oeste de la Laguna Nichupte se puede observar el contacto entre los sedimentos no consolidados del Holoceno y la roca pleistocénica. Éste contacto está representado por un cambio de relieve hacia el interior de la laguna y por medio de un cambio de vegetación. La laguna es pantanosa en su parte occidental y está constituida por matorrales en la porción peninsular.

La superficie rocosa que parte de la península tiene una inclinación hacia el oriente, encontrándose ésta en la parte central de la laguna, a una profundidad de 12 metros; esta profundidad se mantiene más o menos constante hacia el oriente, hasta que abruptamente disminuye, aflorando nuevamente en la porción occidental de Isla Cancún (Brady, 1974).

Las muestras 14 y 15 tomadas debajo de las grietas de desecación están constituidas por fango calcáreo con olor fétido, conteniendo oolitas (probablemente transportadas eólicamente). Estas muestras fueron colectadas en zona de intermarea superior (Figs. 7 y 8, sección 10-10'; Lám. II, Fig. 3).

La muestra 16 fué colectada en el interior de la laguna a una profundidad aproximada de 0.50 m. Está constituida por fangos calcáreos de olor fétido, generados en un ambiente de baja energía, protegido y restringido (Figs. 7 y 8, sección 10-10').

La muestra 17 fué tomada del borde de la laguna. Es un fango calcáreo con olor fétido de color café oscuro, lo cual indica que éste se ha formado en un ambiente reductor y a su vez, es indicativo de la gran cantidad de materia orgánica presente en estado de descomposición (Figs. 7 y 8, sección 10-10').

ISLA MUJERES

Isla Mujeres se localiza en la parte norte de la Península de Yucatán, y está circundada por el Mar

Caribe; tiene una orientación NW-SE y posee aproximadamente las siguientes dimensiones máximas: 7.5 Kms de largo por 1.5 Kms de ancho.

La parte media de la isla es la más ancha, en ella existen 3 lagunas, 2 grandes aproximadamente de 2.5 Km de largo, variando su anchura de unos cuantos metros hasta unos 400 m máximo; una de ellas está en la parte occidental de la isla, y está comunicada al mar por un canal de marea angosto; la otra está en la parte oriental de la misma. La tercera, que es la más pequeña, está en la parte oriental de la isla, adyacente a la segunda y sus dimensiones son de unos 400 m de largo por unos 100 m de ancho. En la porción sur de la isla se localizan unas ruinas mayas.

En esta localidad se observa un modelo de depósito de carbonatos en ambientes de playa, arrecifal, lagunar y eólicos del Reciente y del Pleistoceno en la Plataforma de Yucatán, en su porción oriental.

Isla Mujeres forma parte de los remanentes de crestas dúnicas pleistocénicas, las cuales fueron depositadas cerca del borde externo de una terraza; en las rocas aflorantes, se observa la estratificación cruzada de fuerte ángulo, buzando hacia el occidente. Las eolianitas contienen suelo fósil, formado por moldes de raíces, costras de caliche y varias especies de gasterópodos, todos ellos sirvieron como estabilizadores de las dunas pleistocénicas.

Los ambientes recientes carbonatados que pueden ser observados en Isla Mujeres son: (1) ambientes de playa en la zona del estrecho, (2) lagunar y (3) arrecifal.

Ambiente de playa. En la porción occidental de la isla se pueden observar arenas biógenas del Reciente y eolianitas del Pleistoceno.

La playa del lugar denominado El Islote consiste de arenas gruesas moderadamente clasificadas (muestra M-21a), constituidas por bioclastos de corales abundantes, y en menor proporción microforaminíferos bentónicos, moluscos, espículas de alcionarios y de esponjas, así como ostrácodos. Estos bioclastos provienen del arrecife que se encuentra en la porción SE y están siendo acarreados por las corrientes litorales que van de sur a norte. En este lugar también se observan algas clorofíceas tales como *Penicillus* sp y *Udotea* sp., las cuales están actuando como aportadores de sedimentos carbonatados, ya que en vida se calci-

AMBIENTE	MESTRA	(M)M ₂	σ _t	SK ₁	K ₄	A T R I B U T O S	MOLUSCOS	GORALES	BRICORARIOS	ES P I T O I D E A S	PLANTONES	CORALINEROS	OSTRACODOS	LOLITAS	FANOS	SCALCARO
PLAYA (ENERGIA MODERADA)	M-1	2.58	0.581	-0.234	0.89	ARENA FINA, MODERADAMENTE BIEN CLASIFICADA, ASIMETRICA										
PLAYA (ENERGIA MODERADA)	M-2	2.11	0.386	0.177	0.87	ARENA FINA, BIEN CLASIFICADA, ASIMETRICA HACIA LOS FINOS, PLATICURTICA.										
PLAYA (ENERGIA MODERADA)	M-3	2.48	0.04	-0.039	0.72	ARENA FINA, MUY BIEN CLASIFICADA, CASI SIMETRICA, PLATICURTICA.										
PLAYA (ENERGIA MODERADA)	M-20	1.61	0.54	0.90	0.87	ARENA MEDIANA, BIEN CLASIFICADA, MUY ASIMETRICA HACIA LOS FINOS, PLATICURTICA.										
PLAYA (ENERGIA MODERADA)	M-23	2.22	0.83	-0.08	1.10	ARENA FINA, MODERADAMENTE CLASIFICADA, CASI SIMETRICA, MESOCURTICA.										
PLAYA (ALTA ENERGIA)	M-11	-0.25	0.704	-0.11	0.97	MESOCURTICA, MODERADAMENTE BIEN CLASIFICADA, ASIMETRICA HACIA LOS GRUESOS, MESOCURTICA.										
PLAYA (ALTA ENERGIA)	M-12	2.11	0.318	0.048	0.919	ARENA FINA, MUY BIEN CLASIFICADA, CASI SIMETRICA, MESOCURTICA.										
PLAYA (ALTA ENERGIA)	M-20	0.58	0.86	-0.14	1.05	ARENA GRUESA, MODERADAMENTE CLASIFICADA, ASIMETRICA, HACIA LOS GRUESOS, MESOCURTICA.										
POST-ARRECFE	M-10	0.45	1.33	-0.76	1.73	ARENA GRUESA, MAL CLASIFICADA, MUY ASIMETRICA HACIA LOS GRUESOS, MUY LEPTO CURTICA.										
MEGARIZADURA	M-10	2.18	0.53	-0.55	0.91	ARENA FINA, MODERADAMENTE BIEN CLASIFICADA, MUY ASIMETRICA HACIA LOS GRUESOS, MESOCURTICA.										
MEGARIZADURA DE FONDO	M-24	1.09	0.467	-0.358	1.165	ARENA MEDIANA, BIEN CLASIFICADA, MUY ASIMETRICA HACIA LOS GRUESOS, LEPTOCURTICA.										
MEGARIZADURA DE FONDO	M-25	1.18	0.482	-0.291	1.055	ARENA MEDIANA, BIEN CLASIFICADA, ASIMETRICA HACIA LOS GRUESOS, MESOCURTICA.										
DUNAS	M-19	1.55	0.84	-0.029	0.924	ARENA MEDIANA, MODERADAMENTE CLASIFICADA, CASI SIMETRICA, MESOCURTICA.										
LAGUNA RESTINGUA 1/3 PROTEGIDA	M-14															
LAGUNA RESTINGUA 1/3 PROTEGIDA	M-15															
LAGUNA RESTINGUA 1/3 PROTEGIDA	M-16															
LAGUNA RESTINGUA 1/3 PROTEGIDA	M-17															
LAGUNA RESTINGUA 1/3 PROTEGIDA	M-22															

ABUNDANTE (> 40%)
COMUN (15-35%)
ESCASO (1-10%)
RARO (< 2%)

M₂ = PROMEDIO GRAFICO. ES EL VALOR PROMEDIO DE TODOS LOS TAMAÑOS

φ
- 2 GRANULO
- 3 ARENA MUY GRUESA
1 ARENA GRUESA
2 ARENA MEDIANA
3 ARENA FINA
4 ARENA MUY FINA
5 LINDO GRUESO

$$M_1 = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n}$$

G₁ = DESVIACION GRAFICA ESTANDAR INCLUSIVA. ES LA MEDIDA DE LA CLASIFICACION O SELECCION DEL MATERIAL.

MENOR DE 0.35 MUY BIEN CLASIFICADO
0.35-0.70 BIEN CLASIFICADO
0.70-1.07 MODERADAMENTE BIEN CLASIFICADO
1.0-2.0 MODERADAMENTE CLASIFICADO
2.0-4.0 MAL CLASIFICADO
MAYOR DE 4.0 MUY MAL CLASIFICADO
EXTREMAMENTE MAL CLASIFICADO

$$G_2 = \frac{M_2 - G_1}{4} + \frac{G_2 - 0.5}{6.6}$$

SK₁ = GRADO DE ASIMETRIA GRAFICA INCLUSIVA. CORRESPONDE A LA DISTRIBUCION DE TAMAÑOS

DE +1.00 A +0.50 MUY ASIMETRICO HACIA LOS FINOS
+0.50 A -0.50 ASIMETRICO HACIA LOS FINOS
+0.10 A -0.10 CASI SIMETRICO
-0.10 A -0.50 MUY ASIMETRICO HACIA LOS GRUESOS
-0.30 A -1.00 MUY ASIMETRICO HACIA LOS GRUESOS

$$SK_2 = \frac{G_2 + 0.16 + 0.84 \cdot 2 \cdot 0 + 0.2 + 0.25 \cdot 0.5}{2 \cdot (0.44 + 0.6)} + \frac{0.2 + 0.25 \cdot 0.5}{2 \cdot (0.44 + 0.6)}$$

(FOLK, 1966)

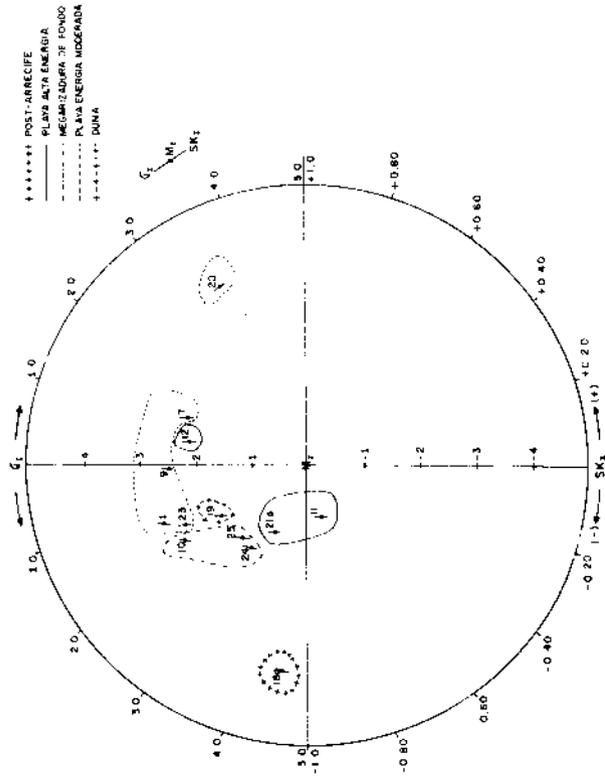


Fig. 9.

fican, y al morir éstos se desintegran en partículas aragoníticas.

En la zona de post-playa (muestra M-21b) se pueden observar eolianitas formadas por dunas del Pleistoceno, las cuales presentan estratificación cruzada de ángulos fuertes. Estas rocas están formadas por oospatita moderadamente clasificada, constituida por ooides superficiales, fragmentos de moluscos, microforaminíferos bentónicos y miliólidos (Figs. 7 y 8, sección 1-1').

La playa denominada Bar Indio (muestra M-23) está formada por arena fina, moderadamente clasificada, constituida principalmente por fragmentos biógenos de corales abundantes, y en menor proporción microforaminíferos bentónicos, moluscos, espículas de alcionarios y de esponjas, ostrácodos, briozoarios y fragmentos de equinodermos (Figs. 7 y 8, sección 3-3').

En Bar Indio a unos 50 m playa afuera, se observa en el fondo de las aguas marinas rizaduras constituidas por arenas de tamaño medio a grueso, formadas principalmente de bioclastos de fragmentos de corales y espículas de alcionarios, así como escasos microforaminíferos bentónicos y ostrácodos, y raramente fragmentos de moluscos y de briozoarios (muestra M-24).

Las rizaduras son formadas por la influencia de las corrientes litorales que van de sur a norte, las cuales transportan el material biógeno y oolítico provenientes de los arrecifes coralinos y de los bancos de oolitas que se encuentran hacia SW de este sitio (Figs. 7 y 8, sección 3-3').

Ambiente lagunar. En el fondo de la laguna protegida que se encuentra en la porción occidental de la parte media de la isla, a unos 3.0 m de profundidad se observa fango calcáreo (muestra M-22), asociado a pasto marino o *Thalassia* que está atrapado en el sedimento; al ser destuido el pasto marino, aporta materia orgánica y pasa también a formar parte del fango.

Ambiente arrecifal. En la parte SW de la isla se encuentra el arrecife de corales en formación, conocido como El Garrafón. En él se pueden observar algunos tipos de corales tales como: *Acropora palmata*, *Diploria*, *Agaricia*, *Manicina areolata*, entre otros más, asociados con algas calcáreas tales como *Halimeda* y *Udotea*. El arrecife está aislado respecto a la barrera arrecifal principal que va desde Punta Nizuc hasta Belice; esto puede deberse a que dicho arrecife está separado del de barrera por los bancos de oolitas, así como por ser recién

te, y por lo tanto apenas está iniciando su desarrollo (Figs. 7 y 8, sección 4-4').

Adyacentemente al arrecife, en su parte SW mar adentro, se pueden observar rizaduras formadas por arenas de bioclastos bien clasificadas de tamaño medio, con abundantes fragmentos de corales y espículas de alcionarios, y en menor proporción microforaminíferos bentónicos, espículas de equinodermo, y raramente restos de moluscos y ostrácodos (muestra M-25). La corriente del Caribe sigue una dirección SE-NW que provoca que las rizaduras adquieran la misma tendencia (Figs. 7 y 8, sección 4-4').

En la orilla de la playa, al oriente del arrecife El Garrafón, afloran rocas formadas por eolianitas del Pleistoceno (muestra M-26). Esta roca está constituida por biomicrita oolítica con moluscos, corales, algas clorofíceas, miliólidos, ostrácodos y microforaminíferos bentónicos. La matriz microcristalina está formada por agujas de aragonita. En microcavidades formadas por disolución, se observan agujas de calcita formando cemento tipo "whisker" (Figs. 7 y 8, sección 4-4'; Lám. III, Fig. 2).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Aguayo C., J.E., R. Bello M., M.A. Del Vecchio C., J. Araujo M., and M.A. Basañez L. 1979. Sedimentological study in the area Tulum-Cancun-Isla Mujeres, State of Quintana Roo, Mexico. in *Geology of Cancun, Quintana Roo, Mexico*. West Texas Geol. Soc. 1979 Field Trip Guidebook, Publ. no. 79-72.
- Bonet, F., 1956. Nota preliminar sobre la constitución de los arrecifes coralinos de la Sonda de Campeche, México. Resúmenes, XX Congreso Geol. Internacional, p. 231.
- Bonet, F., 1958a. Madreporarios del Territorio de Quintana Roo, recolectados por J. Butterlin. *Bol. Asoc. Mexicana Geol. Petrol.*, v. X, nos. 9-10, p. 565-570.
- Bonet, F., 1958b. La presencia de afloramientos en el norte de la Península de Yucatán. *Bol. Asoc. Mexicana Geol. Petrol. II Convención. Resúmenes de los trabajos*, p. 47-48.
- Bonet, F., 1959. Afloramientos del Eoceno en el norte de la Península de Yucatán. *Bol. Asoc. Mexicana Geol. Petrol.* v. XI, nos. 1-2, p. 1-12.
- Bonet, F., 1967. Biología subsuperficial del arrecife Alacranes, Yucatán. *Bol. Inst. Geología*, Univ. Nal. Aut. de México, v. 80, 172 p.
- Bonet, F. and J. Butterlin, 1962. Stratigraphy of the northern part of the Yucatan Peninsula, in *Field Trip to Península de Yucatán*. New Orleans Geol. Soc. Guidebook, p. 52-57.
- J. Butterlin y F. Bonet, 1963. Las formaciones cenozoicas de la parte mexicana de la Península de Yucatán. *Ingeniería Hidráulica en México*, v. 7, 10 p.
- Brady, M.J., 1974. Sedimentology and depositional history of coastal lagoons, northeastern Quintana Roo, Mexico, in *Field Trip 2, Annual Meeting of the New Orleans Geol. Society*, p. 148-175.

- Broecker, W.S., D.L. Thurber, J. Goddard, T.K. Ku, R.K. Mathews and K.J. Mesolella, 1968. Milankovitch hypothesis supported by precise dating of coral reefs and deep sea sediments. *Science*, v. 159, p. 297-300.
- Folk, R.L., 1967. Carbonate sediments of Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico and vicinity. *in* Yucatan Field Trip Guidebook Annual Meeting, Geol. Soc. of America, p. 100-123.
- Folk, R.L., M.O. Hayes and R. Shoji, 1962. Carbonate sediments of Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico and vicinity, *in* Yucatan Field Trip Guidebook, New Orleans Geol. Society, p. 85-100.
- Folk, R.L., and R. Robles, 1964. Carbonate sands of Isla Perez Alacran reef complex, Yucatan. *Journal of Geology*, v. 72, no. 3, p. 255-292.
- Harms, J.C., P.W. Choquette, and M.J. Brady, 1974. Carbonate sand waves, Isla Mujeres, Yucatan, *in* Field Trip 2, Annual Meeting of the New Orleans Geol. Society of America, p. 148-175.
- Hernández, S.H., 1973. Plataforma de Yucatán (Posibilidades Petrolíferas). Informe inédito de Petróleos Mexicanos no 584.
- Hoskin, C.M., 1963. Recent carbonate sedimentation on Alacran reef, Yucatan, Mexico. *Natl. Acad. Sci., Natl. Research Council Publ.* 1089, p. 1-160.
- Kornicker, L.S., and D.W. Boyd, 1962. Shallow water geology and environments of Alacran reef complex, Campeche Bank, Mexico. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 46, no. 5, p. 640-673.
- Logan, B.W., 1969. Carbonate sediments and reefs, Yucatan Shelf, Mexico. Part 2. Coral reefs and banks, Yucatan Shelf, Mexico (Yucatan Reef Unit). *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir* 11, p. 129-198.
- Logan, B.W., J.L. Harding, W.M. Ahr, J.D. Williams, R.G. Shead, 1969. Carbonate sediments and reefs, Yucatan Shelf, Mexico. Part 1. Late Quaternary Carbonate sediments of Yucatan Shelf, Mexico: *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir* 11, p. 5-120.
- López R., E., 1973. Estudio geológico de la Península de Yucatán. *Bol. Asoc. Mexicana Geol. Petrol.*, vol. XXV, nos. 1-3, p. 23-76.
- Ward, W.C., 1970. Diagenesis of Quaternary eolianites of NE Quintana Roo, Mexico. PhD dissert., Rice University. 205 p. (Inédito).
- Ward, W.C., 1973. Influence of climate on the early diagenesis of carbonate eolianites. *Geology*, v. 1, p. 171-174.
- Ward, W.C., 1974a. Carbonate sand and gravel on the shallow shelf, northeastern Yucatan Peninsula. *in* Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, p. 106-122.
- Ward, W.C., 1974b. Collector's guide to carbonate cement types, northeastern Yucatan Peninsula. *in* Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, p. 175-178.
- Ward, W.C., and M.J. Brady, 1973. High energy carbonates on the inner shelf, northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, v. 23, p. 226-238.
- Ward, W.C., and J.L. Wilson, 1974. General aspects of the northeastern coast of the Yucatan Peninsula. *in* Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, p. 96-105.
- Weidie, A.E. (ed.), 1974. Field seminar on water and carbonate rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico. New Orleans Geological Society, Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, 274 p.
- Wilson, J.L., W.C. Ward y M.J. Brady, 1969. Al noreste de la Península de Yucatán, República Mexicana, se descubre una nueva área para el estudio de sedimentos de evaporitas-carbonatos. *Bol. Asoc. Mexicana Geol. Petrol.*, vol. XXI, nos. 1-6, p. 16-25.