

Estudio Geomorfológico de la Bahía y de la Playa de Santiago en Manzanillo, Colima.

RESUMEN

*Monique Lancin **

*Arturo Carranza Edwards ***

* *Departamento de Geología, Instituto de Geología, UNAM. Laboratorio de Geomorfología. Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris, Francia.*

** *Departamento de Geología, Instituto de Geología, UNAM.*

La Bahía de Santiago es una de las seis grandes bahías presentes en el litoral pacífico entre Cabo Corrientes y Salina Cruz. La orientación de este litoral y la profundidad de sus márgenes continentales se deben a su proximidad con la Trinchera Mesoamericana. Los relieves que definen la bahía proporcionan materiales de descomposición a los rellenos del fondo de la bahía. Las condiciones dinámicas de la bahía son mal conocidas. Es necesario considerar la importancia del "fetch" (área generadora del viento), la pequeña amplitud de las mareas y el dominio de los vientos de tierra.

La Playa de Santiago es una playa de fondo de bahía, en su mayor parte apoyada en un cordón litoral. Está constituida por arenas finas, derivadas de las rocas vecinas. Las variaciones de las formas de la playa permiten distinguir cuatro dominios correspondientes con condiciones de morfogénesis diferentes, difíciles de precisar por falta de datos. La playa se caracteriza por el valor de su pendiente y la convexidad de sus perfiles.

Sería interesante ver si existen relaciones con otras playas del litoral pacífico.

RESUME

La baie de Santiago est l'une des six grandes baies qui échancrent le littoral pacifique du Mexique entre Cabo Corrientes et Salina Cruz.

L'orientation de ce littoral et la profondeur de ses marges continentales sont dues a la proximité de la Fosse Méso-Américaine. Les reliefs qui encadrent la baie fournissent, par leur décomposition, les matériaux de colmatage aux plages qui en tapissent le fond. Les conditions hydrodynamiques de la baie sont mal connues; on peut souligner l'importance du fetch, la faible amplitude des marées et la prédominance des vents de terre.

La plage de Santiago est une plage de fond de baie, en majeure partie appuyée a un cordon litoral. Elle est formée de sables fins issus des roches voisines. Des variations dans les formes de la plage permettent d'y distinguer quatre domaines correspondant a des conditions de morphogenese différentes qui sont toutefois difficiles a préciser, faute de données. La plage se caractérise par la vigueur de ses pentes et la convexité de ses profils.

Des comparaisons seraient a rechercher avec d'autres plages du littoral pacifique.

INTRODUCCION

Los litorales mexicanos se caracterizan por el importante desarrollo de los materiales deleznable, debido en parte a las condiciones climáticas favorables a una disgregación rápida de las rocas. En un 75% de su longitud, estas costas son bajas con cordones de dunas bordeadas a menudo por pantanos o por lagunas. Las costas rocosas se localizan esencialmente en los litorales orientales de Baja California y en la región comprendida entre el Río Grande de Santiago al norte y Salina Cruz al sur. En esta región, el Eje Neovolcánico mexicano, después la Sierra Madre del Sur descienden hasta el océano, formando así una costa bastante accidentada. Sin embargo, esta parte del litoral mexicano está lejos de encontrarse completamente elevada. Los sectores rocosos están interrumpidos por cordones litorales arenosos con lagunas y por bahías profundas, cubiertas con playas de arena constituyendo sitios de estaciones balnearias muy reputadas como: Bahías de Ban-

dera, Navidad, Santiago y Manzanillo, Zihuatanejo y Acapulco. Entre esas bahías la de Santiago ha sido escogida para su estudio geomorfológico ya que es la menos afectada por la urbanización, y sus condiciones naturales han sido modificadas muy poco.

I.—BAHIA DE SANTIAGO

A. *Marco regional.*

La Bahía de Santiago se encuentra localizada entre los $19^{\circ} 07'$ de latitud norte y $104^{\circ} 22'$ de longitud oeste; al NW del Puerto de Manzanillo, dentro del litoral del Estado de Colima.

1). *Relieve y Estructura*

El Estado de Colima posee un relieve montañoso, a excepción de las Cuencas de Colima y Tecomán (fig. 1), poderosamente disecado por erosión lineal. La orientación de las cadenas montañosas es preferentemente NW-SE, pero esta dirección dominante está recortada por sierras N-S, lo que engendra una topografía relativamente compleja.

Esta región se encuentra dentro de cuatro provincias geológicas diferentes. Al NW se ubica el batolito granítico de Jalisco, al N se encuentra la terminación de las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental, al E los volcanes Nevado de Colima y el Volcán del Fuego formando parte del eje neovolcánico; y al SE se encuentra el complejo metamórfico sedimentario de la Sierra Madre del Sur. Se trata de una zona tectónicamente activa, localizada cerca del contacto entre la placa de Cocos y la placa de América del Norte (Trinchera Mesoamericana).

2). *El litoral y sus bordes oceánicos*

La Trinchera Mesoamericana, determina la orientación NW-SE del litoral entre Cabo Corrientes y Salina Cruz. También da nacimiento

a una fosa marina donde la profundidad alcanza 4,762 m a solamente unos 70 kms de Manzanillo. La proximidad de esta fosa marina explica la fuerte pendiente del margen continental (aprox. 3° hasta la isobata 4,000 m) y la ausencia de una verdadera plataforma continental; en efecto, el zócalo continental es estrecho (10-25 kms de ancho) y su pendiente, que varía entre $0^{\circ} 4'$ y $1^{\circ} 1'$ es anormalmente fuerte cuando en general la pendiente de una plataforma continental tiene en promedio $0^{\circ} 07'$.

La pendiente abrupta juega un papel apreciable dentro de las condiciones de la morfogénesis del litoral, ya que afecta el aporte de sedimentos desde el mar. Las corrientes de transferencia, no han podido ser más que longitudinales. El desarrollo importante de las costas de relleno en el litoral de Colima es una prueba de la existencia de dichas corrientes orientadas SE-NW, como lo muestra la orientación del cordón de la Laguna de Cuyutlán y la del Cabo San Francisco. Al nivel de las dos amplias bahías gemelas de Manzanillo y Santiago, las isobatas forman un gancho hacia la costa; este aumento de los fondos bloquea el desarrollo del cordón de Cuyutlán.

B. *Marco local*

1). *Topografía y Geología*

La bahía de Santiago se abre hacia el S. Está limitada al W por la Punta de Juluapan y al E por la Punta de la Audiencia o de Santiago que la separa de la Bahía de Manzanillo. Su profundidad es de 3.6 kms y su envergadura máxima de 5 kms de un extremo a otro de la playa. Esta envergadura disminuye hacia el mar y no es más que de 3.6 kms. entre la Punta Gorda y la Punta de la Audiencia, tratándose entonces de una bahía relativamente cerrada.

La bahía está enmarcada por relieves vigorosos, profundamente labrados por las aguas de arroyos, como lo indica la traza tortuosa de las curvas de nivel (fig. 2). Al Norte se eleva un macizo granítico denominado Cerro El To-

ro con 835 metros de altura, a solamente 4 kms del fondo de la bahía. El mismo material forma la Punta de Santiago; se trata de un bloque que se eleva hacia el Sur donde su altura alcanza 100 metros. Al Oeste la Punta de Juluapan tiene pendientes pronunciadas y una altura mayor (250 m). Está formada por rocas volcánicas especialmente de andesitas del Cenezoico Superior (fig. 3). Estas rocas se caracterizan por un estado de descomposición superficial avanzado.

Entre esos relieves se manifiestan zonas planas tapizadas de aluviones recientes y depresiones pantanosas. Entre el Cerro El Toro y la Punta de Santiago se extiende el valle de fondo plano del Río Santiago que desemboca en la bahía. Al Oeste los numerosos arroyos que descienden del Cerro El Toro han creado una planicie de inundación. Sus aguas se pierden en la Laguna de Juluapan, de gran dimensión (2 kms de Norte a Sur y 1 km, en el máximo de Este a Oeste). Los sondeos realizados por la Secretaría de Marina (1973) revelan profundidades mayores de 4 m. Esta Laguna comunica con el mar por un canal angosto al pie de la Punta Gorda. Actualmente este canal está casi completamente obstruido por la construcción de un puente, lo que ha perturbado sensiblemente el equilibrio biológico de la laguna tapando la renovación de las aguas. Los márgenes de la laguna están cubiertos por manglar, habitat de diversas especies de camarones y crustáceos, así como de serpientes y aves acuáticas. Al final de la bahía se encuentran dos lagunas más pequeñas, bordeadas también por manglar pero sin comunicación con el mar. Ahí desembocan arroyos cuyos aportes son responsables del relleno parcial de esas lagunas.

Las lagunas son índices de una regularización de la traza del fondo de la bahía por la construcción del cordón litoral arenoso que forma la playa actual.

2). *Batimetría*

La traza de las isobatas se encuentra más o menos paralela a la del litoral. Las profundi-

dades aumentan rápidamente desde la costa, sobre todo cerca de las puntas rocosas y al N-NE de la bahía. Las isobatas 5 y 10 m son cerradas y muy cercanas de los rasgos de la costa. El incremento de la profundidad se hace más lento hacia el mar abierto. Pero en conjunto, las aguas de la Bahía de Santiago son bastante profundas. Este hecho tiene que influir sobre las condiciones dinámicas, puesto que el frenaje de las olas por frotamiento sobre el fondo es menor en aguas profundas que en aguas de poca profundidad.

C. *Agentes dinámicos*

Los agentes dinámicos más activos en ambiente litoral son las olas y las corrientes. Por ausencia de datos precisos, no se podrá establecer más que una estimación aproximada de las condiciones dinámicas existentes en la Bahía de Santiago.

1). *Olas*

La Costa Pacífica de México es una de las regiones del globo donde el "fetch" (área generadora del viento) es de las más grandes (fig. 4). Hacia el W se extienden 14,000 kms de océano abierto entre la ribera de Colima y las Filipinas; hacia el SW 12,600 kms hasta Australia, al S y SSE 11,000 kms hasta el Continente Antártico y hasta las riberas meridionales de Chile y a 10,000 kms al NW se encuentran las Aleutianas. Es hacia el SE que el "fetch" es más corto, pero asimismo, hay en esta dirección cerca de 4,000 kms hasta las costas del Ecuador.

Puesto que la longitud de onda y la altura de las olas es mayor a medida que el "fetch" es más importante, la región de Manzanillo tiene un régimen de olas largas y altas. Las olas de este tipo son poderosas pero, como la ola tiene una refracción en el fondo cuando la profundidad del agua es inferior a la mitad de su longitud de onda, una ola larga se amortigua en agua más profunda que una ola corta.

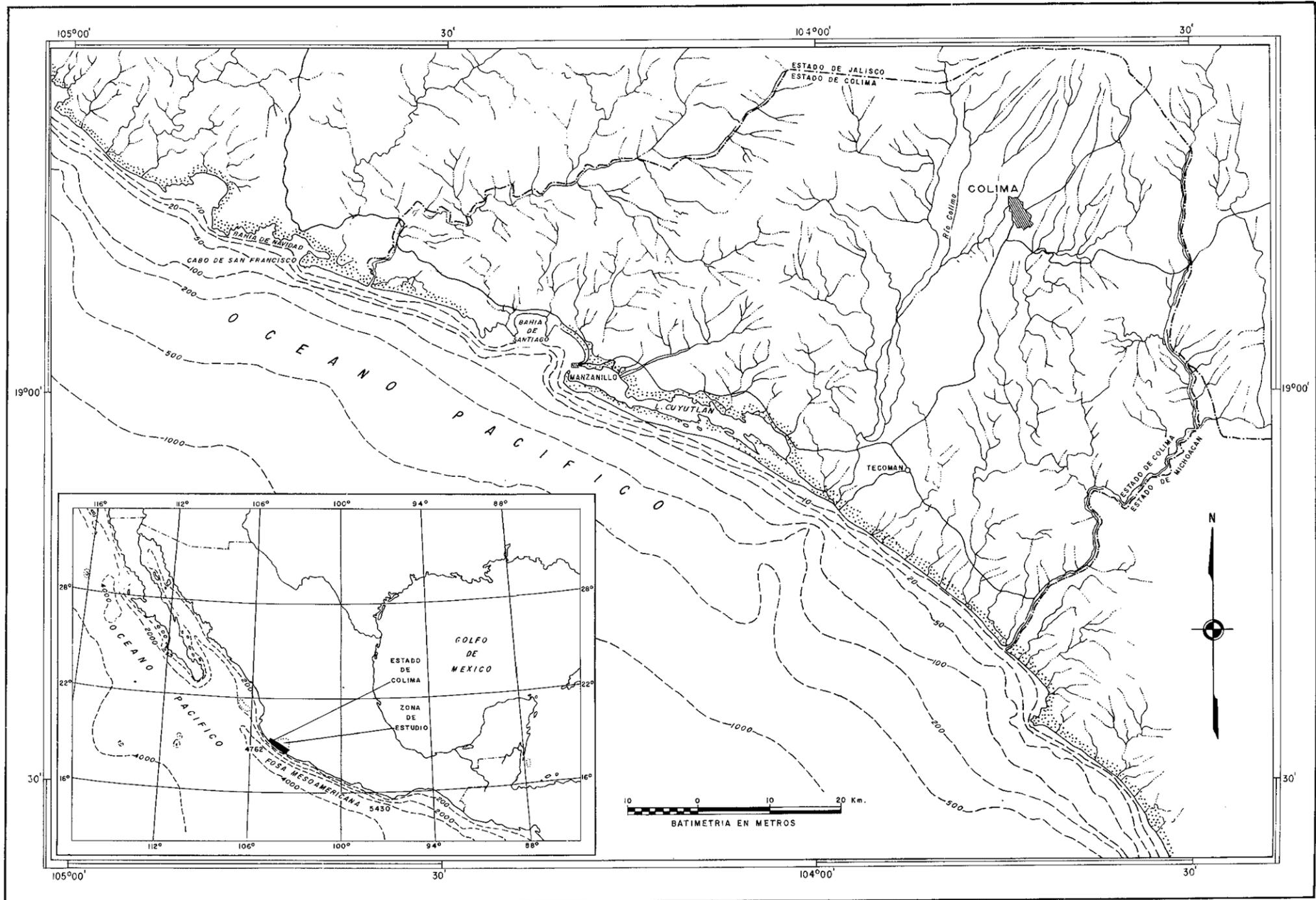


FIG.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Dada la orientación de la Bahía de Santiago, las olas más eficaces provienen del S. Tienen una frecuencia de 17.9%, esto es, que no son sin duda dominantes. Sería necesario disponer de datos relativos a la frecuencia de olas de orientación diferente, en particular de otras olas del sector S, para llegar a conclusiones válidas. La circulación general del aire en el Centro-Este del Pacífico (fig. 5) señala la importancia del flujo del W y del NW a lo largo de esta porción del litoral mexicano. Esto, permite suponer que las olas de NW a W deben ser bastante frecuentes en Manzanillo, pero la configuración y la orientación de la Bahía de Santiago la mantienen al abrigo de esas olas.

2). *Vientos*

Los vientos tienen una doble acción en la geomorfología litoral. Una acción directa por la deflación eólica de las arenas de playa y duna y una acción indirecta por el concurso de las olas. Estas, al ser de origen lejano, pueden tener una orientación diferente a la de los vientos de la costa mientras que estos ejercen una influencia sobre las olas frenándolas (vientos de tierra) o empujándolas hacia la ribera (vientos del mar).

La rosa de los vientos (fig. 6), muestra, según los datos de la estación meteorológica de Manzanillo, un dominio neto de los vientos del W-NW que representan 46.6% de las horas de viento. Después se tienen los vientos del sector E, especialmente del S-SE, NE y del SE (respectivamente 9.4%, 7% y 6.8% de las horas de viento). Los vientos del S sólo tienen una frecuencia de 1.8% lo que muestra que no hay coincidencia entre la frecuencia de los vientos y la de las olas. En Manzanillo, los vientos más frecuentes son los del continente, lo que puede ejercer una acción moderatriz sobre las olas, pero en contraste, eso puede provocar la salida del material de la playa hacia la anteplaya.

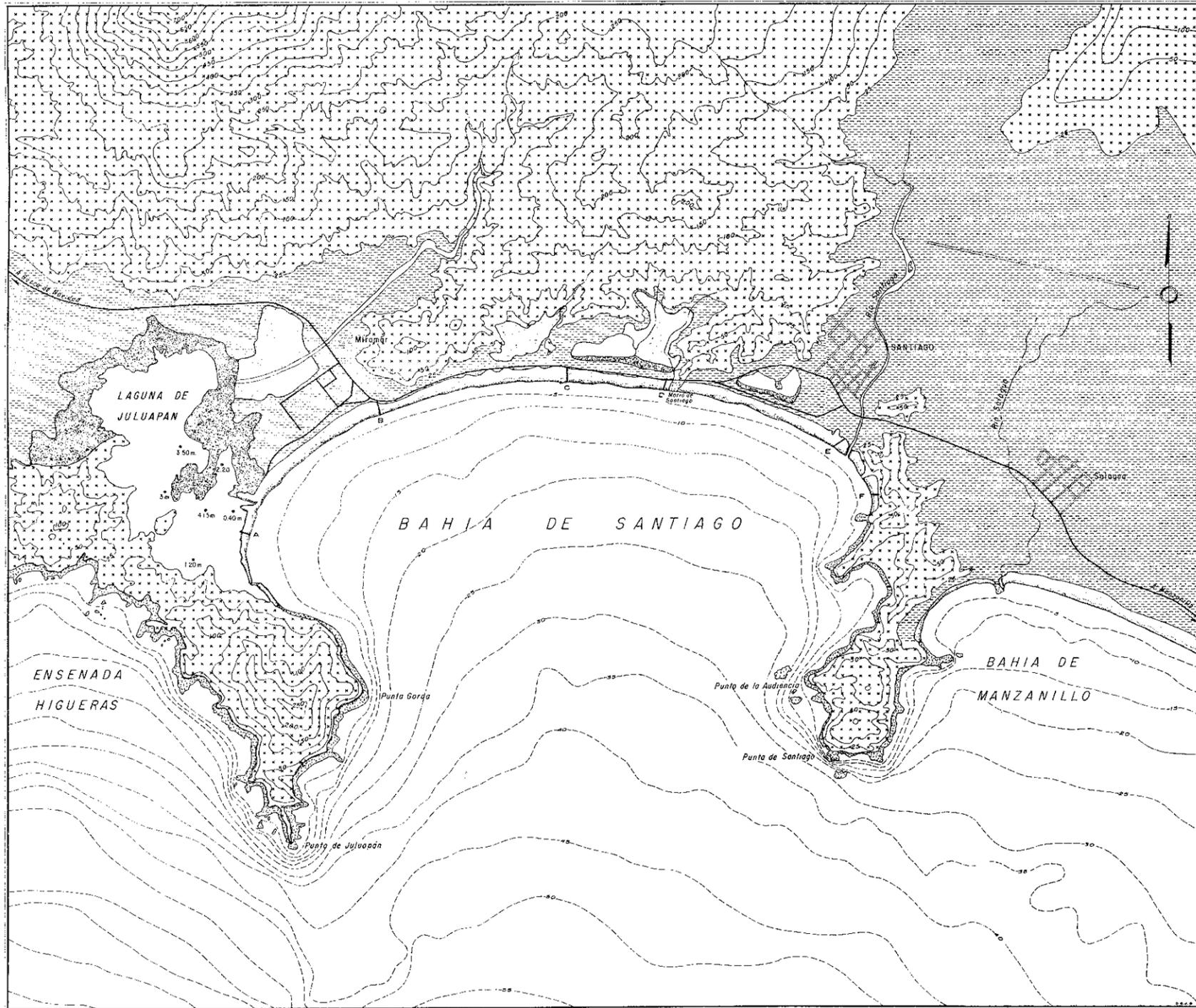
Los vientos sólo tienen una acción geomorfológica sobre las arenas de playa y dunas a

partir de una velocidad mínima que depende de la granulometría, de la densidad y de la cohesión del material. Esta velocidad mínima es de 4.5 m/seg. para arenas cuarzosas de 0.25 mm de diámetro medio y de densidad 2.65. Las arenas de la zona de intermareas necesitan vientos más fuertes para moverse, puesto que la humedad aglutina unas partículas contra otras. Las arenas de Manzanillo contienen, además, una fuerte proporción de minerales pesados, de manera que los vientos deben de tener una velocidad bastante mayor que 4.5 m/seg. para ser eficaces.

Los vientos más violentos siendo los más eficaces, es preciso conocer su frecuencia y su dirección. En Manzanillo, se conoce la velocidad y la orientación de los vientos más violentos registrados cada mes, pero no su duración, que juega un papel importante en la eficacia geomorfológica de los vientos.

La orientación de los vientos cuya velocidad sobrepasa 10 m/seg. varía según las estaciones: los vientos más violentos vienen del WNW en la estación seca (de noviembre a mayo) y del sector E especialmente del SE y del SSE, en la época de lluvias (de julio a septiembre). Los meses de junio y octubre son transicionales con una repartición más o menos igual de esos vientos, superior a 10 m/seg. entre los sectores W y E. La repartición mensual de los vientos (fig. 7) muestra justamente que los vientos de WNW alcanzan su máxima frecuencia de noviembre a junio y los de SE y SSE de julio a octubre. Considerando la orientación de la bahía, son las tempestades de verano las más terribles.

Esta región de la Costa del Pacífico se encuentra sobre el trayecto de los huracanes tropicales provenientes del SE. Se deben particularmente a los cambios estacionales: mayo-junio y sobre todo octubre-noviembre, pero ningún mes del año está exento. En 13 años, de 1959 a 1972, Manzanillo ha sufrido 10 ciclones notables, siendo el más devastador el del 27 de octubre de 1959, cuando se registraron



EXPLICACION

- Tierras altas
- Planicie aluvial
- Llanura de inundación-pantano
- Mangle
- Costa acantilada
- Playa de guijarros
- Playa arenosa
- Poblado
- Carretera
- Pista aérea
- Río
- Arroyo
- Perfil
- Curva batimétrica
- Profundidad



NOTA 1.- El plano topográfico base fue tomado del plano N°1 del levantamiento aerofotogramétrico, de marzo de 1973, elaborado por la Dirección General de Urbanismo, Ingeniería y Arquitectura de la S.P.M. Manzanillo, Colima.

NOTA 2.- Exceptuando la curva de 25 m., la equidistancia entre curvas es de 50m.

U. N. A. M. — E. P. H. E.

**PLANO GEOMORFOLOGICO
DE LA BAHIA DE SANTIAGO
COLIMA, MEXICO**

FIG. 2

LEVANTO	FECHA	ESCALA
Manigat LANGIN - Arturo ORTIZ P.	ABRIL DE 1974	1:20,000

vientos de más de 200 km/h. hasta con valores de 250 km/h. Después de la Conquista Española, Manzanillo no había conocido más que tres ciclones tan violentos, en 1626, 1812 y 1881.

Los ciclones se acompañan por lluvias diluvianas (625 mm en 30 hrs. en 1959) y por olas enormes. Son entonces capaces de alterar la morfología del litoral.

3). *Mareas*

El régimen de marea en Manzanillo es mixto. Generalmente la marea es semidiurna, es decir, que hay dos pleamares y dos bajamares en 24 hrs. pero después de las zizigias (luna llena y luna nueva), las segundas pleamares y bajamares se amortiguan progresivamente para desaparecer uno o dos días antes de las cuadraturas (cuartos creciente y menguante). Se pasa entonces a una marea diurna (una sola pleamar y una sola bajamar en 24 hrs.). Dos o tres días después de las cuadraturas, el régimen vuelve a ser semidiurno (fig. 8).

Estas mareas son de amplitud débil. El rango, es decir, el desnivel entre la pleamar principal y la bajamar principal, es en promedio de 0.71 cm solamente.

El rango máximo (mareas de aguas vivas excepcionales) no sobrepasa de 1.64 metros. La eficacia geomorfológica de la marea parece entonces poco importante ya que la fuerte pendiente de la playa limita la anchura de la zona de intermareas.

4). *Corrientes*

Los datos presentan defectos particularmente en lo que concierne a las corrientes en la Bahía de Santiago. Los trabajos de la Dirección de Oceanografía de la Secretaría de Marina (1973) han confirmado una corriente principal SE-NW en los alrededores de la bahía, pero

no se sabe si existen corrientes en el interior de ella. A pesar de todo, se puede suponer que haya una corriente de marea en el canal de la Laguna de Juluapan.

La Bahía de Santiago se caracteriza por su amplitud, por su cuadro montañoso susceptible de proporcionar materiales deleznable resultantes de la descomposición de las rocas cristalinas y volcánicas y por la importancia de las formas de relleno localizadas en el fondo de la bahía. Respecto a las condiciones hidrodinámicas es necesario recordar la importancia del "fetch", la profundidad de las aguas de la bahía y de sus alrededores, su exposición protegida, excepto de tempestades del SSE y del SE, y la suave amplitud de las mareas. Estas condiciones determinan la geomorfología de la playa que tapiza el fondo de la bahía.

II.—PLAYA DE SANTIAGO

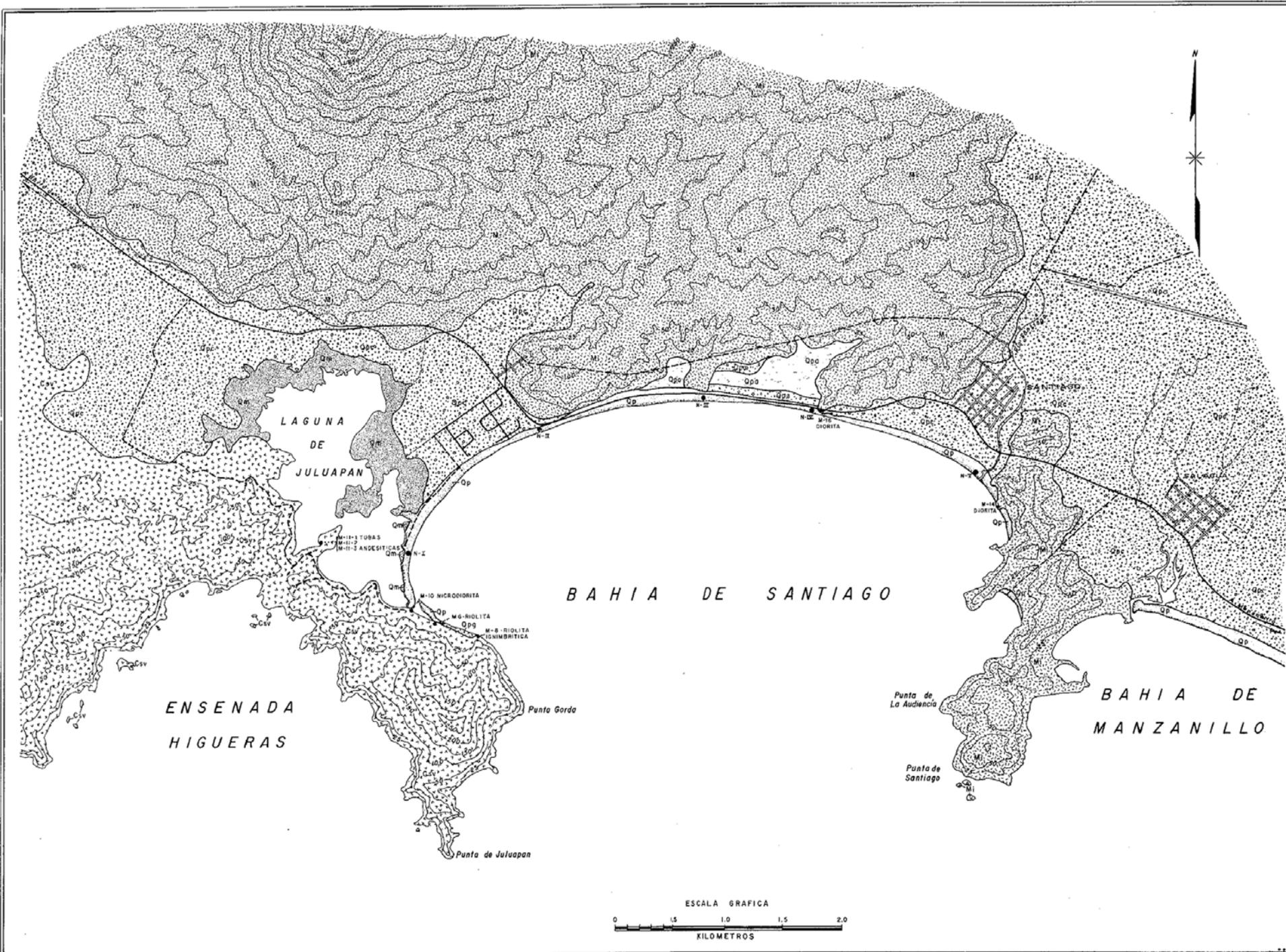
La playa de Santiago es la vertiente externa de un cordón litoral que bordea el fondo de la bahía de Santiago. Este cordón está interrumpido por dos puntas dioríticas, en un lado y otro de la planicie aluvial del Río Santiago y cruzado por la desembocadura de este río al Este y por la boca de la Laguna de Juluapan al Oeste.

A. *Material*

La playa de Santiago está formada por arenas excepto en la extremidad SW, donde al pie de Punta Gorda se tiene una playa estrecha de grava de unos 300 m de longitud.

1). *Origen del material*

Las arenas de la Playa de Santiago tienen un color muy oscuro, debido a la gran abundancia de minerales pesados que contienen (tabla 1):



EXPLICACION

- CUATERNARIO RECIENTE (Playas)
- CUATERNARIO RECIENTE (Playa de Guijarros)
- CUATERNARIO RECIENTE (Manglar)
- CUATERNARIO RECIENTE (Pantano)
- CUATERNARIO RECIENTE (Clástico)
(Depositos aluviales y talud)
- CENOZOICO SUPERIOR VOLCANICO
(Riodacitos, riolitas, andesitas y tobas andesíticas)
- MESOZOICO INTRUSIVO
(De composición diorítica o granítica)

SIMBOLOS

- Contacto geológico
- Curva de nivel
- Poblado
- Carretera
- Terreferia
- Vereda
- Pista aerea
- Río
- Arroyo
- Nucleo
- Muestra

NOTA 1.- El plano topográfico base fue tomado del plano N°1 del levantamiento aerofotogramétrico, de marzo de 1973, elaborado por la Dirección General de Urbanismo, Ingeniería y Arquitectura de la S.P.N. Manzanillo, Colima.

NOTA 2.- Exceptuando la curva de 25 m., la equidistancia entre curvas es de 50m.

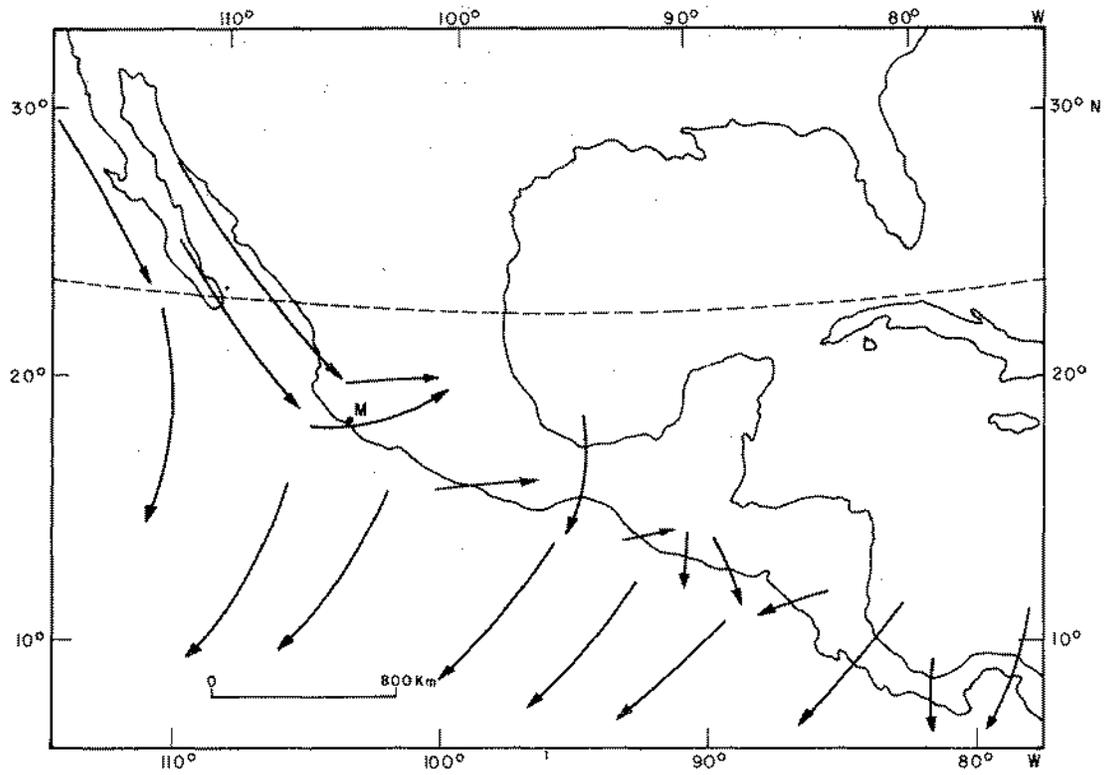
U. N. A. M. — E. P. H. E.

**PLANO GEOLOGICO
DE LA BAHIA DE SANTIAGO
COLIMA, MEXICO**

FIG. 3

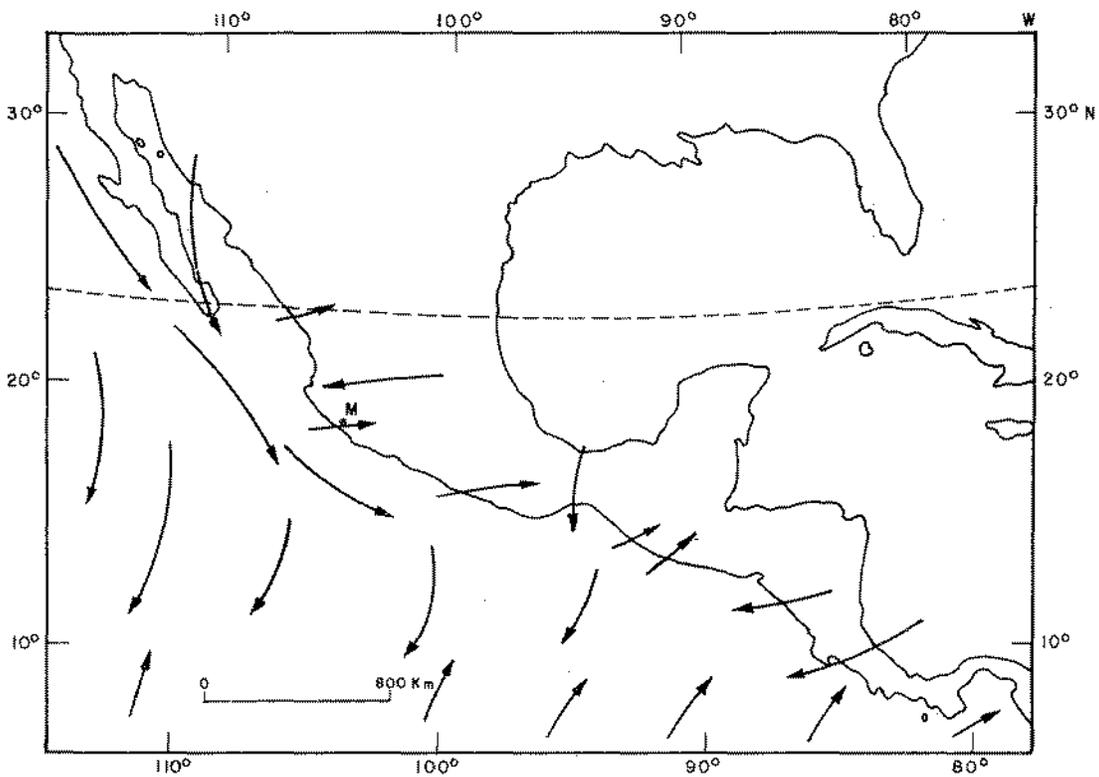
LEVANTO Ing. Arturo Carranza E.	FECHA Octubre, 1973	ESCALA 1:20,000
------------------------------------	------------------------	--------------------





A. VIENTOS EN ENERO.

FIG.5 DIRECCION DE LOS VIENTOS EN LAS COSTAS CENTRO. ESTE DEL PACIFICO.



B. VIENTOS EN JULIO.

SEGUN R.C. WEST (1964) P 191 FIG.3-4.

TABLA I: Porcentaje de minerales pesados en relación al peso total de la muestra.

Núcleo	Profundidad en cm.	% de minerales pesados
I-1	0-2	30.5
I-2	2-10	30.8
I-3	10-18.5	30.3
I-4	18.5-23.5	18.4
I-5	23.5-27.5	23.4
I-6	27.5-37.5	24.7
I-7	37.5-40.5	36.6
II-1	0-4	88.1
II-2	4-6.5	53.6
II-3	6.5-10.5	79.9
II-4	10.5-17.5	44.7
II-5	17.5-30	65.4
II-6	30-39	80.5
III-1	0-2	53.1
III-2	2-10.5	34
III-3	10.5-17.5	77.2
III-4	17.5-19.5	60.4
III-5	19.5-31.5	80.4
IV-1	0-3	29.3
IV-2	3-8	53.6
IV-3	8-20	16.7
IV-4	20-25	67.7
IV-5	25-35	12.4
IV-6	35-40	30.8
IV-7	40-47	39.1
V-1	0-9	19.3
V-2	9-22	4.2
V-3	22-29.5	15.4
V-4	29.5-39.5	16
V-5	39.5-43	34.5

Los minerales pesados son particularmente abundantes en el centro de la playa (núcleos II, III y IV). Su proporción es menor cerca de la desembocadura del Río Santiago. Sin embargo esta distribución de los minerales pesados a lo largo de la playa no permite excluir la hipótesis de un aporte de material por el río, pudiendo luego los minerales pesados concen-

trarse en el centro de la playa bajo la acción de las olas y de las corrientes. Será necesario analizar los aluviones río arriba para saber si se encuentran o no las mismas asociaciones de minerales pesados que en la playa.

El estudio cualitativo y cuantitativo de los minerales pesados (tabla II), hace resaltar la frecuencia de la asociación mineralógica bronzita-hornblenda-actinolita-tremolita. Al estar derivados estos minerales de las rocas eruptivas de la Punta de Juluapan su presencia a lo largo de la playa podría ser un índice de un transporte litoral W-E.

En examen morfosκόpicó los granos muestran un aspecto anguloso o sub-anguloso, lo que prueba que no han sido sometidos a un transporte prolongado en el medio acuoso. La abundancia de anfíbolas (hornblenda), mecánicamente frágiles, apoya igualmente un origen próximo y reciente de las arenas de la playa. Se puede concluir que el material de la playa de Santiago proviene de la disgregación de las rocas volcánicas y metamórficas que enmarcan la bahía y que no han tenido ni aportes marinos ni permanencia prolongada de los sedimentos en el mar.

2). Granulometría del material

La playa de Santiago está formada por arenas finas. El diámetro medio de las partículas estudiadas por análisis granulométrico, en cedazos, es de 0.25 mm (ϕ 2). La mediana de la muestra más fina (No. 2) es de 0.115 mm (ϕ 3.12) y la de la muestra más gruesa (No. 9) de 0.49 mm (ϕ 1.03).*/**

A partir de las curvas acumulativas (fig. 9), se han determinado los parámetros estadísticos que permiten comparar las muestras entre sí. Como parámetro central se ha considerado el promedio gráfico de Folk and Ward (1957) y Folk (1966 y 1969) dado por la siguiente fórmula:

$Mz = (\phi 16 + \phi 50 + \phi 84) / 3$. Los resultados se agrupan en la tabla III, donde se han clasificado en orden creciente.

TABLA II: Análisis cuantitativo de los minerales pesados contenidos en las arenas de la Playa de Santiago.

Núcleos	MINERALES (en %)										
	B	Ho	A-T	Ma	Mi	E	He	Z	T	Ap	Div.
I-1	26	44	6	0	0	0	0	0	0	18	6
I-2	4	47	4	3	7	3	6	3	0	10	13
I-3	7	40	1	8	5	8	4	4	0	12	9
I-4	0	48	0	4	8	8	6	6	0	8	12
I-5	24	48	4	2	0	7	1	1	0	8	5
I-6	19	44	7	4	0	6	0	2	2	10	6
I-7	19	40	6	4	2	2	10	1	1	7	8
II-1	18	11	14	46	0	0	4	0	0	4	3
II-2	25	5	1	57	0	0	0	0	0	5	7
II-3	17	1	1	72	0	3	0	0	0	5	1
II-4	18	1	7	60	0	2	6	0	0	3	3
II-5	23	2	6	55	0	3	1	0	0	0	10
II-6	27	3	11	51	0	0	0	0	0	3	5
III-1	45	40	3	2	0	5	0	0	0	0	4
III-2	30	31	17	1	0	1	0	0	0	1	19
III-3	48	31	6	0	0	1	0	0	0	2	12
III-4	50	25	8	2	0	5	2	0	0	7	1
III-5	56	31	4	1	0	2	0	0	0	4	2
IV-1	50	20	5	9	0	9	1	0	0	1	5
IV-2	62	15	6	8	0	5	1	1	0	0	2
IV-3	50	22	11	4	2	3	1	0	0	4	3
IV-4	58	18	7	4	0	3	1	0	0	3	6
IV-5	40	19	16	9	0	2	0	1	0	2	11
IV-6	40	18	16	20	3	0	0	2	0	0	2
IV-7	34	9	5	45	0	4	0	0	0	2	1
V-1	29	29	25	2	4	2	0	0	0	0	9
V-2	15	33	0	4	28	0	6	1	1	1	11
V-3	33	15	29	3	1	5	2	1	0	3	8
V-4	27	27	30	10	0	4	1	0	0	1	0
V-5	33	24	14	5	5	0	2	3	4	4	6

B = Bronzita, Ho = Hornblenda, A-T = Actinolita-Tremolita, Ma = Magnetita, Mi = Mica, E = Epidota, He = Hematita, Z = Zircón, T = Turmalina, AP = Apatita, Div = Otros minerales.

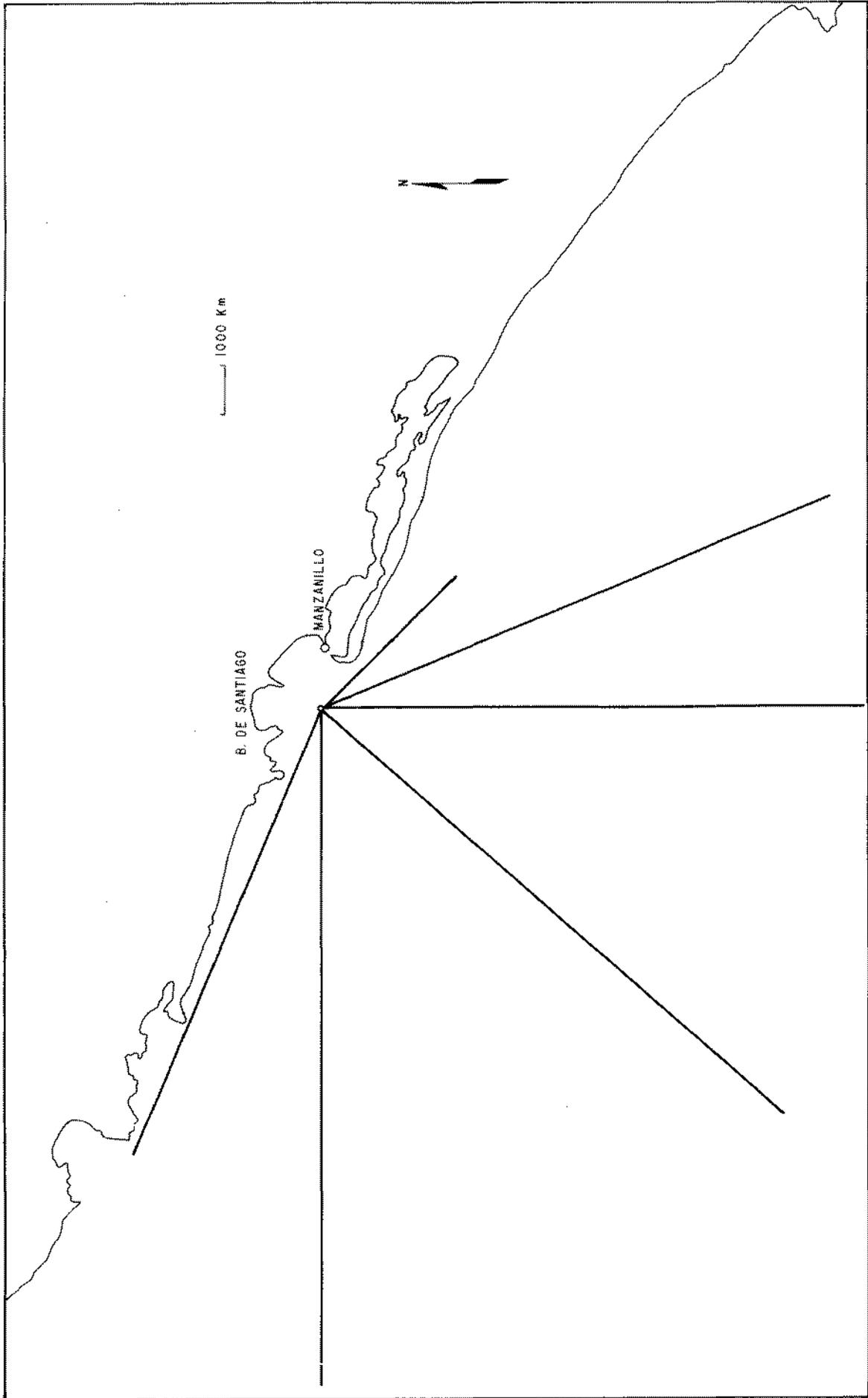


FIG 4 EL "FETCH" EN MANZANILLO.

TABLA III: Parámetros centrales de las muestras de arena de la Playa de Santiago.

No. de Muestra*	Mz ϕ	Localización No. del Perfil	Situación de la muestra
2	3.15	A	Nivel de P.M.**
1	3.05	A	" " B.M.***
15	2.95	F	" " P.M.
3	2.94	A	" " P.M.
5	2.60	B	" " P.M.
14	2.52	F	" " B.M.
6	2.46	B	" " P.M.
12	2.22	E	" " P.M.
4	1.99	B	" " B.M.
13	1.99	E	" " P.M.
8	1.87	C	" " P.M.
10	1.66	D	" " P.M.
11	1.27	E	" " B.M.
7	1.26	C	" " B.M.
9	1.04	D	" " B.M.

* Para la localización de las muestras ver figura 11.

** PM = Pleamar

*** BM = Bajamar

Esta tabla muestra que la dimensión promedio de las partículas varía de un lado a otro de la playa. Los materiales más finos se encuentran en las dos extremidades de ésta (perfiles A y F) y los materiales más gruesos se encuentran a lo largo de los perfiles centrales (perfiles C y D).

Se observa por otro lado, que para cada perfil la granulometría de la arena es más gruesa en la parte baja de la playa que en la parte alta. Esto se observa aún mejor en la fig. 10, que representa en cada perfil las curvas granulométricas de dos muestras tomadas respectivamente al nivel de bajamar y al nivel de pleamar. Se puede notar igualmente que la desviación entre las dimensiones del material arriba de la playa y del de abajo varía de un perfil a otro. La desviación entre las dos curvas es mucho menos marcada para el perfil F que para los

perfiles centrales B, C y D y es insignificante para el perfil A. El material es entonces más homogéneo en las extremidades de la playa que en el centro. La diferencia máxima entre las dimensiones del material al nivel de bajamar y de pleamar se encuentra sobre el perfil E, esto es, cerca de la desembocadura del Río Santiago, cuyos aportes modifican la granulometría del material de la playa y le dan una heterogeneidad mayor.

Para observar en forma precisa la clasificación de los sedimentos de la playa de Santiago, se ha recurrido al índice de desviación tipo de Folk (1966 y 1969) dado por la fórmula:

$$\sigma 1 = (\phi_{84} - \phi_{16})/4 + (\phi_{95} - \phi_5)/6.6$$

Los resultados aparecen en la tabla IV.

TABLA IV. Clasificación de las arenas de la Playa de Santiago.

No. de muestra	Localización	$\sigma 1$	Clasificación
1	perfil A-B.M.	ϕ 0.34	Muy bien clasificada
3	perfil A-P.M.	ϕ 0.36	Bien clasificada.
7	" C-P.M.	0.39	
5	" B-P.M.	0.42	
2	" A-P.M.	0.43	Moderada-bien clasificada.
15	" F-P.M.	0.51	
4	" B-B.M.	0.55	
8	" C-P.M.	0.56	Moderadamente clasificada.
12	" E-P.M.	0.60	
6	" B-P.M.	0.62	
13	" E-P.M.	0.64	Moderadamente clasificada.
11	" E-B.M.	0.65	
14	" F-B.M.	0.65	
10	" D-P.M.	0.67	Moderadamente clasificada.
9	" D-B.M.	0.72	

* Para la localización de las muestras ver figura 11.

** Agradecemos a la Señorita Monique Le Vor, técnico del Laboratorio de Geomorfología E.P.H.E. en Dinard, Francia, quien realizó los análisis granulométricos.

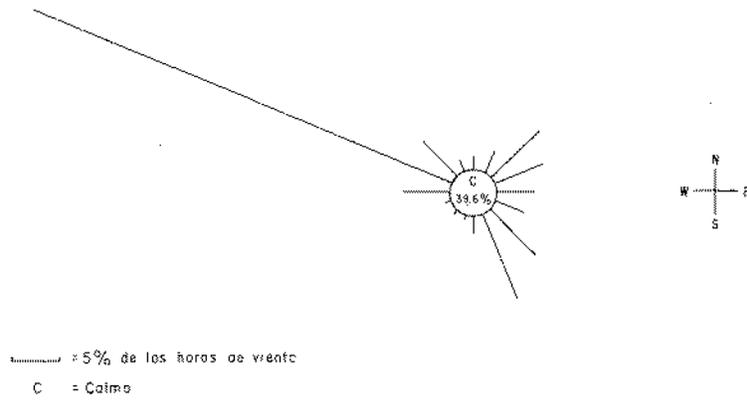


FIG.6 FRECUENCIA ANUAL DE LOS VIENTOS EN MANZANILLO (COL.)

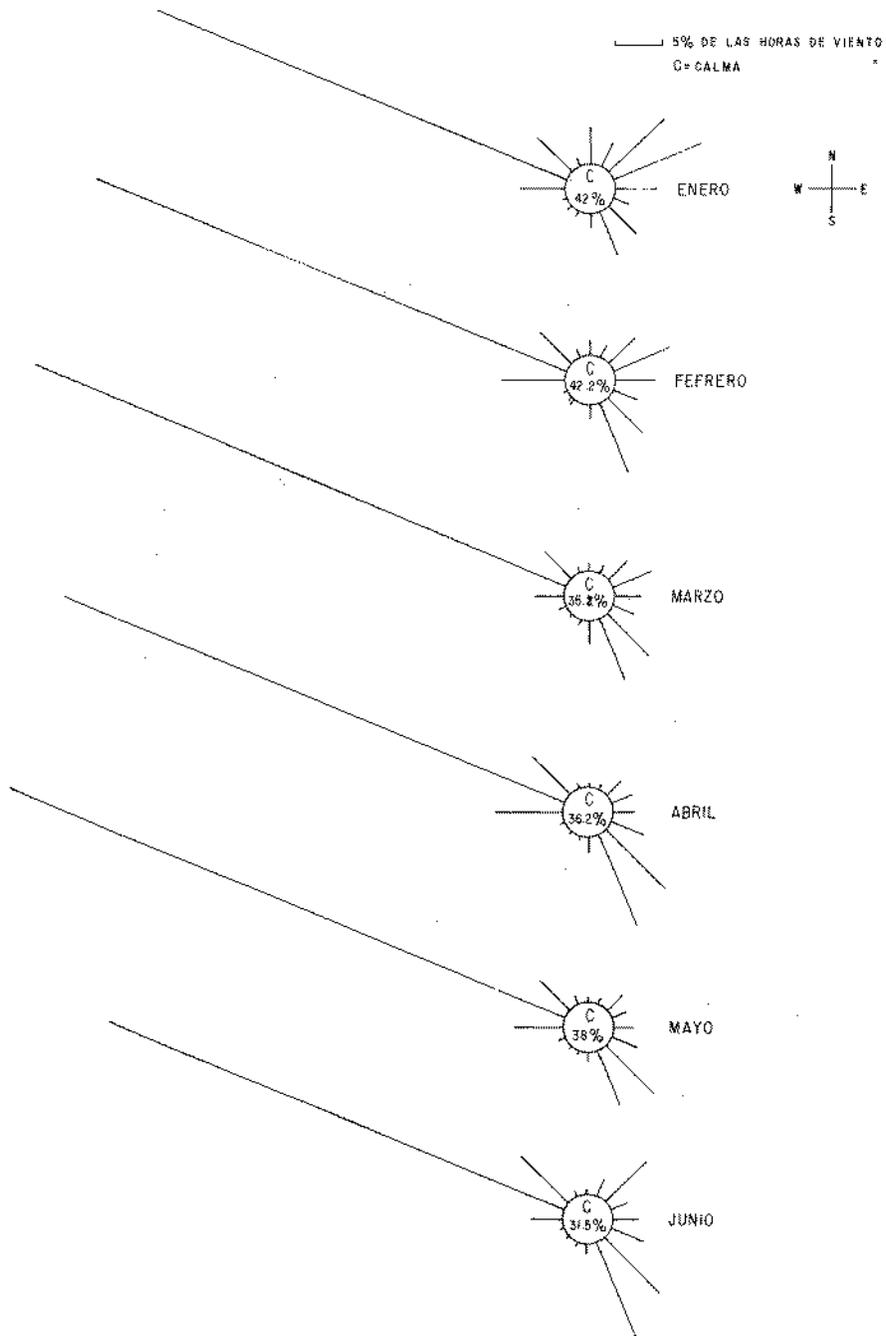


FIG.7 FRECUENCIA MENSUAL DE LOS VIENTOS EN MANZANILLO (COL.)

La clasificación resulta mediocre en la playa de Santiago, ya que las arenas de playa entran casi siempre en la categoría de "bien clasificadas". Los sedimentos mejor clasificados se encuentran en la parte occidental de la playa (perfil A) y los de menor selección en el centro (perfil D). Esto está en relación con condiciones dinámicas diferentes, pues se sabe que el extremo Oeste es la parte mejor protegida de la playa, mientras que el centro es la más expuesta. Estas diferencias se reflejan en el trazado de los perfiles y en las formas menores lo que permite proponer una división geomorfológica de la playa de Santiago.

B. División geomorfológica de la playa.

1). Cordón de la Laguna de Juluapan

Entre el mar y la Laguna de Juluapan, en una longitud aproximada de 600 metros, se extiende una flecha arenosa aplanada, de anchura aproximada de 50 metros en su raíz que va disminuyendo hacia el W, donde su extremidad no sobrepasa una quincena de metros de amplitud. Esta flecha litoral forma un arco de círculo cóncavo hacia el mar. Está separada por una estrecha boca oblícua de una segunda flecha de 200 metros de largo con raíz en Punta Gorda y que se alarga en forma de gancho hacia el NW.

El cordón de la Laguna de Juluapan se ubica en la parte menos profunda y más protegida de la bahía. Es ahí donde la arena de playa es más fina (grano medio 0.12 mm) y la mejor clasificada. El perfil de la playa que forma la vertiente externa del cordón litoral es complejo (Fig. 11 A). Presenta una postplaya de una decena de metros de ancho con pendiente muy ligera hacia la laguna, después sigue la playa propiamente dicha, con un perfil muy regular ligeramente cóncavo cuya pendiente de 4° es bastante fuerte para un material tan fino. La base de la playa está accidentada por una serie de rugosidades y de surcos litorales paralelos

a la línea de playa. Estas líneas se originan por los remolinos provocados por el rompimiento de las olas.

2). Parte central de la playa

Desde la Laguna de Juluapan hasta el Morro de Santiago (punta rocosa interrumpiendo la playa) la playa de Santiago se construye en tierras bajas aluviales en partes pantanosas, situadas en la contrabase del cordón litoral. La postplaya forma un dique natural aprovechado por la carretera Manzanillo-Barra de Navidad, encontrándose así al abrigo de las inundaciones.

Esta parte de la playa tiene un perfil de mayor pendiente que el del cordón de Juluapan. El perfil B (fig. 11) hace transición, su traza es todavía regular y ligeramente cóncava, pero su pendiente es un poco más acentuada (5.2°) que la del perfil A. Los perfiles C y D son muy cortos con pendientes fuertes (8.4° y 9.6°), excepcionales en las arenas de dimensión media (grano medio 0.35 mm. y 0.43 mm.). Su traza es irregular, estando accidentada por escalones de playa labrados por las olas de alta marea. Su forma de conjunto es convexa, es decir, que la pendiente es más fuerte en la mitad inferior del perfil que en la mitad superior (respectivamente 13° y 4.5° para el perfil C, y 11° y 9.5° para el perfil D). Este tipo de perfil parece bastante raro en las playas de fondo de bahía.

La fuerte pendiente favorece la formación de cuernos de playa (cuspilitos) cuya longitud de onda y regularidad varían según la ola que los engendra.

La parte central de la playa es la más expuesta, lo que se traduce por la granulometría más gruesa del material y por las fuertes pendientes. Es asimismo en esta zona donde la arena contiene los más altos porcentajes de minerales pesados.

3). La desembocadura del Río Santiago

Al E de la punta rocosa llamada "Morro de Santiago", la playa bordea la planicie aluvial

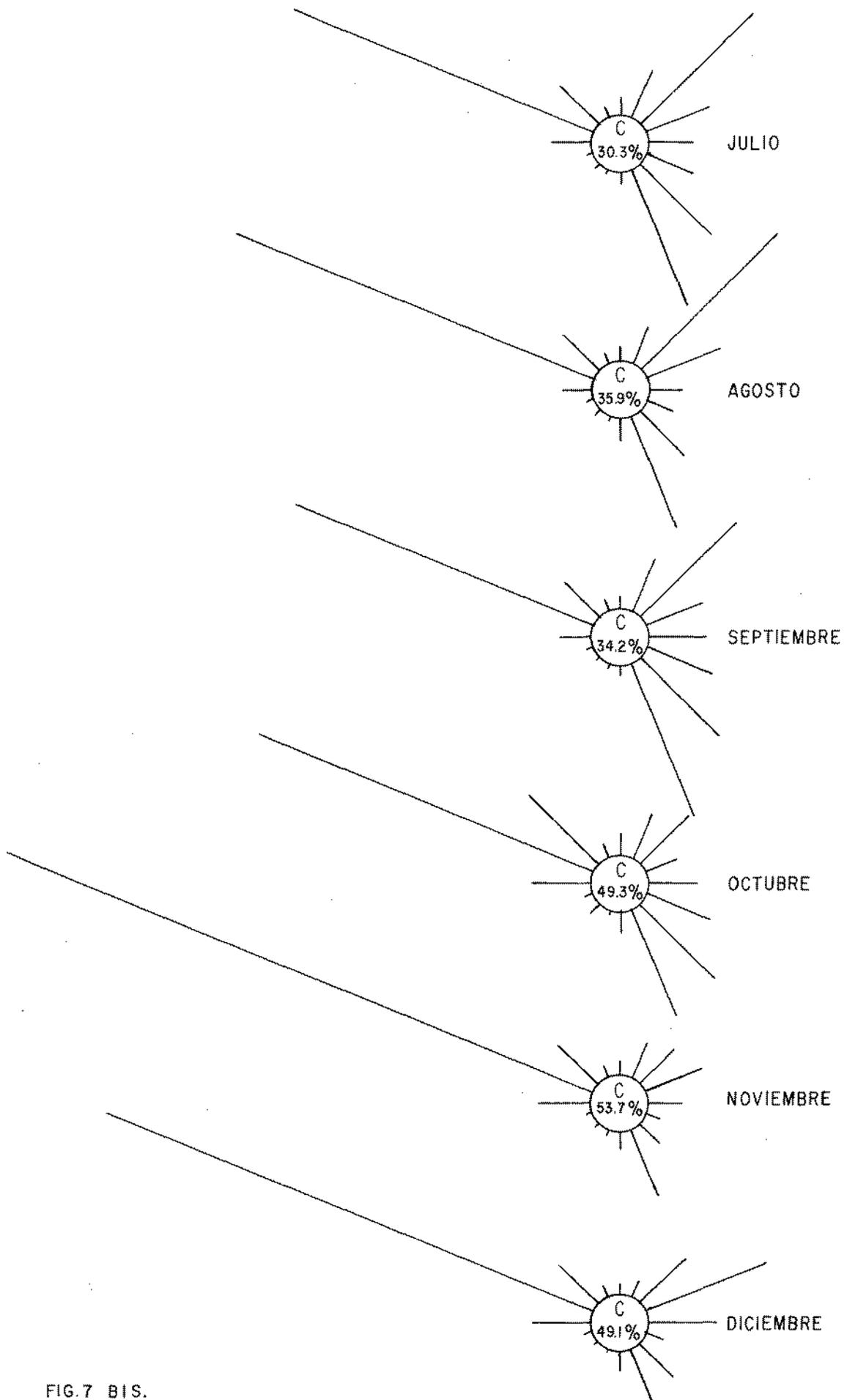


FIG.7 BIS.

del Río Santiago cuya desembocadura la cruza oblicuamente del NNW al SSE.

La playa alcanza aquí su máxima amplitud (40 metros). El perfil (fig. 11 E) se caracteriza por una larga postplaya en contra-pendiente. Hacia el mar, la pendiente es cóncava y fuerte (10°), lo que explica la presencia de cuernos de playa.

Sin duda, los aportes del Río Santiago son responsables de la abundancia y de la heterogeneidad que caracterizan el material de esta parte de la playa. Será necesario un complemento de información sobre el régimen y la capacidad de transporte de este río para comprender mejor su influencia sobre la morfología de la playa.

4). *La pequeña playa del Este*

Más allá del estuario del Río Santiago, una segunda punta rocosa aísla una pequeña bahía secundaria expuesta al W. Su traza forma parte del arco de círculo formado por la bahía de Santiago, pues es necesario considerarla como parte integrante de la playa de Santiago. Sin embargo los caracteres geomorfológicos son extremadamente diferentes de los del resto de la playa.

En lugar de una playa libre, formada por la vertiente externa de un cordón litoral, se encuentra aquí una playa enteramente enmarcada por cantiles a los cuales se adosa directamente. El estudio de los minerales pesados no se ha hecho para esta parte de la playa, por lo que será interesante ver si el contacto directo con la roca en el lugar se traduce por una mayor abundancia de estos minerales.

El perfil (fig. 11 F) es notorio por su concavidad perfectamente regular. La pendiente del conjunto es bastante fuerte (6.3°), lo que es un punto en común con el resto de la playa; en contraste no hay ni escalones, ni cuernos de playa. El material es apenas menos fino que el del extremo occidental de la playa (dimensión

media de los granos: 0.16 mm. en lugar de 0.12 mm.) y es bastante homogéneo.

De esta manera, el examen de los perfiles y de las formas de playa, así como el de los caracteres del material, permite distinguir cuatro dominios diferentes en la playa de Santiago. Sería necesario investigar los factores hidrodinámicos que pueden explicar estas diferencias, pero desgraciadamente los datos disponibles son a menudo escasos.

C. *Relaciones entre los caracteres morfológicos de la playa y las condiciones hidrodinámicas de la bahía.*

La playa de Santiago pertenece a la familia de playas de fondo de bahía las cuales tienen la traza característica de arco de círculo. A excepción de su extremo oriental, adosado al cantil, se trata de una playa libre, vertiente externa de un cordón litoral que aísla varias lagunas y zonas deprimidas más o menos pantanosas. Se diferencia completamente de las otras playas del mismo tipo por ciertas particularidades que se encuentran en relación con las condiciones locales.

1). *Valor de las pendientes*

A lo largo de la playa, la pendiente media de los perfiles es más vigorosa de lo que se podría esperar dada la fineza de las arenas. Gracias al agua que empapa la arena y que aglutina unas partículas contra otras, la pendiente de la playa es superior a la pendiente de equilibrio de un sedimento seco de la misma dimensión media.

Este vigor de las pendientes puede explicarse en parte por la batimetría de la bahía. El perfil de la playa prolonga el de la anteplaya que es aquí abrupta. Sin embargo la pendiente de la anteplaya, medida hasta la isobata 5 metros, es claramente más débil que la de la playa, como lo muestra la tabla V:

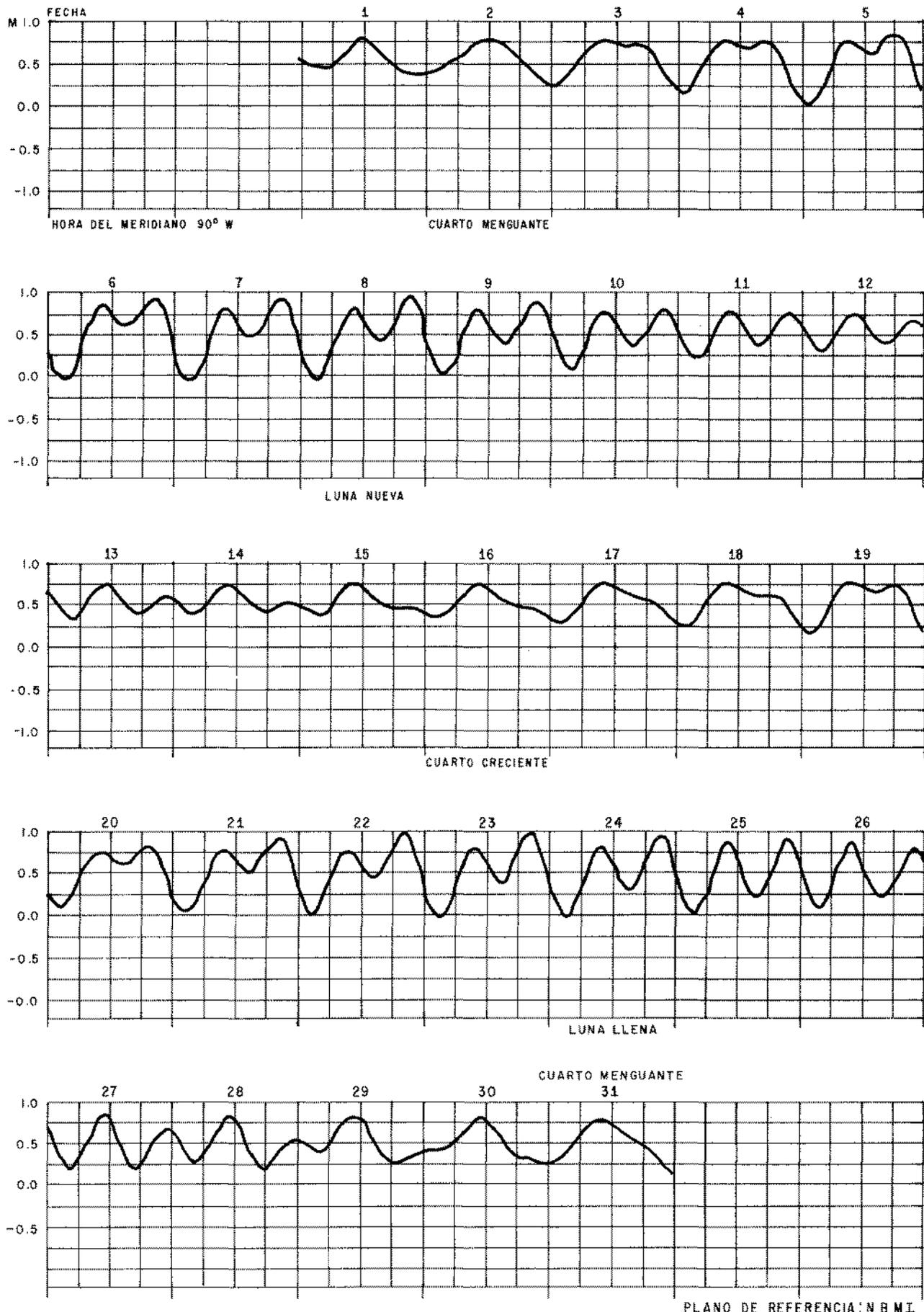


FIG.8 CALENDARIO GRAFICO DE MAREAS. AGOSTO 1972 MANZANILLO, COL.
 SEGUN INSTITUTO DE GEOFISICA, U.N.A.M. SECRETARIA DE MARINA (1971).

TABLA V: Comparación entre las pendientes de la playa y de la anteplaya.

	pendiente media de la playa	pendiente media de la anteplaya
Perfil A	4°	1°5
Perfil B	5°2	3°
Perfil C	8°4	3°
Perfil D	9°6	3°
Perfil E	10°	3°5
Perfil F	6°3	2°

Así pues, hay ruptura de pendiente entre la anteplaya y la playa. Es necesario buscar las causas de las fuertes pendientes de ésta en el régimen de las olas que modelan los perfiles.

Acorde con la profundidad de las aguas en los alrededores de la playa, las olas rompen en las proximidades de la ribera, lo que da una energía máxima al golpe de agua en la orilla. Este arroja las partículas de arena hacia lo alto de la playa, pero, en función y en la medida de su salto su energía disminuye por frotamiento. Su capacidad de transporte decrece con ella también, así que sólo las partículas más finas son arrojadas hasta lo alto del perfil. Este proceso puede explicar que la granulometría del material sea menos gruesa en lo alto de la playa. El engrosamiento de lo alto de la playa provoca un aumento de la pendiente del perfil.

Este estado del perfil de la playa puede ser modificado con un cambio del régimen de las olas. Si las olas son más arqueadas, rompen más lejos de la orilla, así pierden una parte de su energía antes de llegar a la playa. El trabajo de la capa de regreso, cuya eficacia es función de la pendiente de la playa, será preponderante y las partículas serán arrastradas hacia la base. Tal cambio de régimen sucedió cuando se hicieron las observaciones del 19 y el 20 de agosto de 1972, bajo el efecto de un viento del SE que anunciaba el ciclón que posteriormente alcanzó Manzanillo el día 30. Las olas se incrementaron y comenzaron a romperse a una

docena de metros de la playa. Dada la debilidad de la marea, la capa de regreso erosionó largo tiempo al mismo nivel, abatió el nivel de la arena en la base de la playa, mientras que lo alto del perfil, quedaba intacto. Entre las dos zonas aparecieron micro-cantiles, esto es, los escalones de playa observados sobre los perfiles C y D. La formación de estos escalones acentúa la pendiente media de la playa, lo que explica los altos valores encontrados a lo largo de esos perfiles. Sin embargo, los taludes sub-verticales de los escalones de playa tienen pendientes demasiado por arriba de la pendiente de equilibrio del material para poder subsistir por largo tiempo, y a medida que la arena se va secando se derrumban. La capa de regreso continúa evacuando partículas hacia la base de la playa; el conjunto del perfil terminará por abatirse.

Se necesitan repetidas observaciones, en condiciones de olas distintas, para establecer si son las olas constructivas (generadoras de un engrosamiento) o las olas destructivas (responsables de adelgazamiento) las que dominan sobre la playa de Santiago.

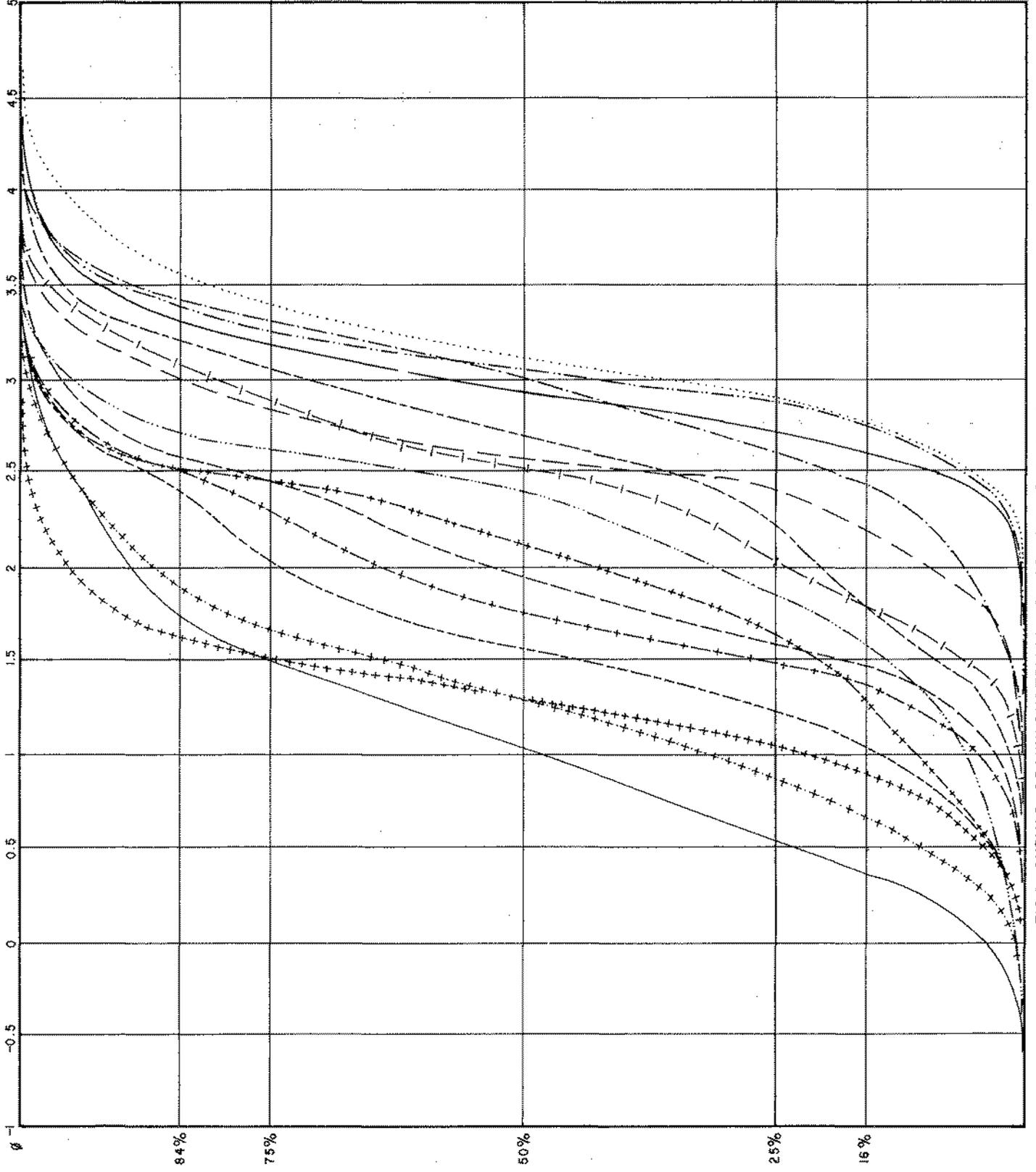
2). Convexidad de los perfiles

Otra particularidad de la playa de Santiago es la forma de conjunto convexo de la mayor parte de esos perfiles (A, C, D y E). Los perfiles de playa son generalmente cóncavos, es decir, que lo alto de la playa tiene mayor pendiente que la parte baja (Guilcher 1957 y Pinot 1969). Es este tipo de perfil que se encuentra sobre el litoral francés del Atlántico y de la Mancha e igualmente en México, en las costas del Golfo.

La playa de Santiago no parece ser un caso particular, pues se encuentra el mismo tipo de perfiles en las otras playas del Municipio de Manzanillo, y aparecen en otras playas del Pacífico (Barra de Navidad, Puerto Vallarta).

CONCLUSIONES

Sería interesante hacer un estudio más amplio para saber si la convexidad de los perfiles



- MUESTRAS N°
- 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
 - 6
 - 7
 - 8
 - 9
 - 10
 - 11
 - 12
 - 13
 - 14
 - 15

FIG.9 CURVAS GRANULOMETRICAS DE LAS ARENAS DE LA PLAYA DE SANTIAGO.

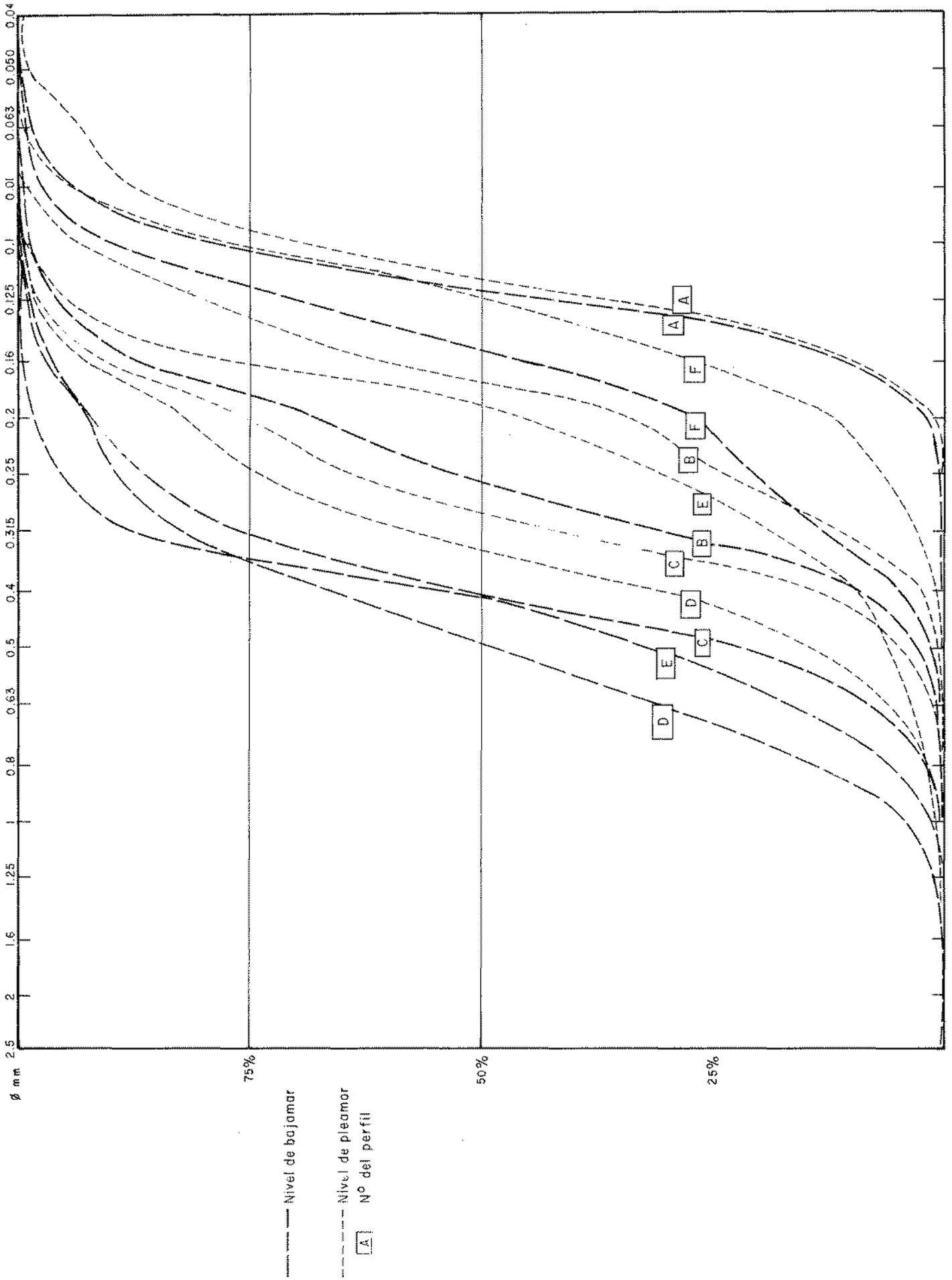
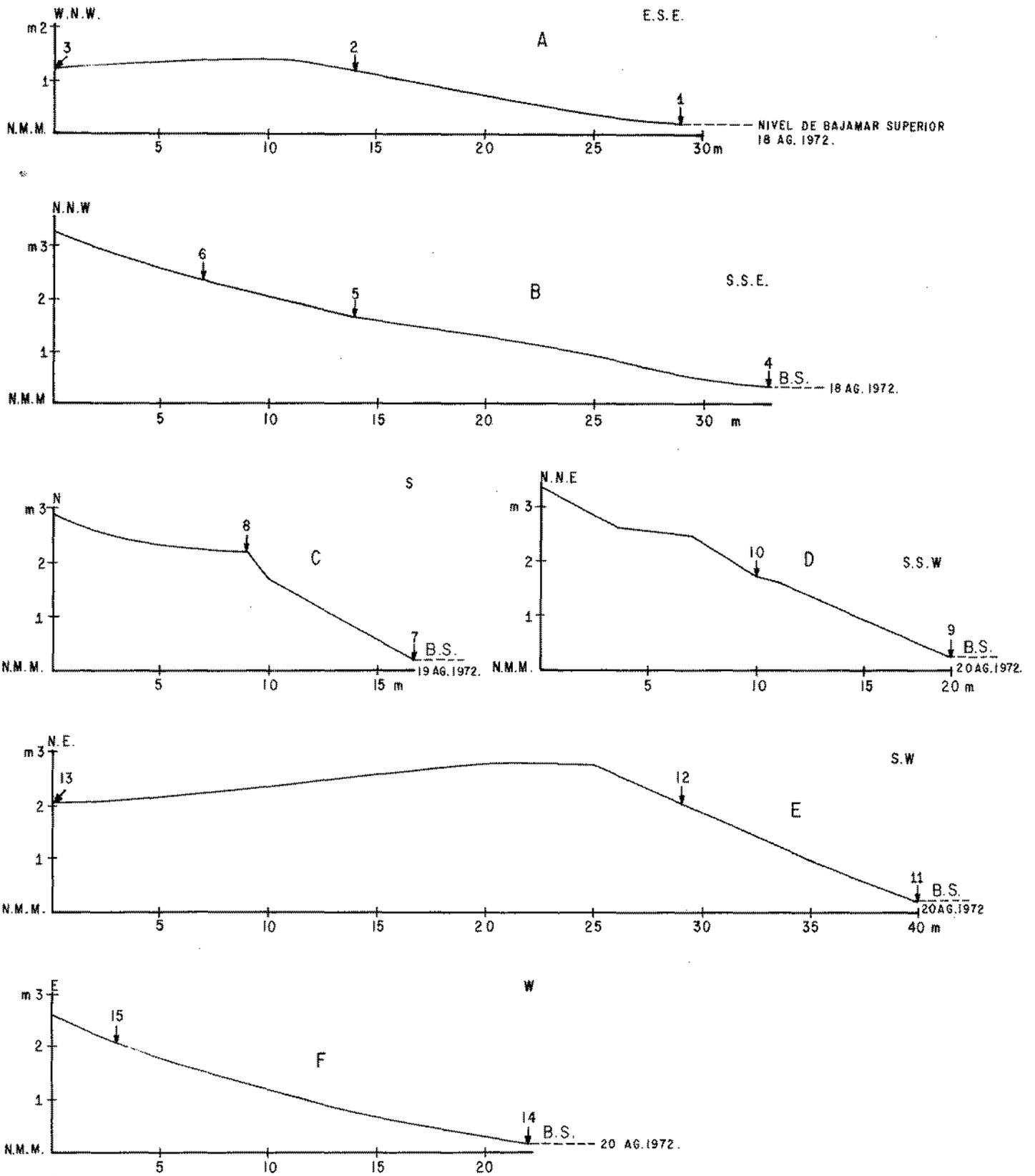


FIG.10 COMPARACION ENTRE LA GRANULOMETRIA DE LOS NIVELES DE BAJAMAR Y PLEAMAR.

FIG.II PERFILES DE LA PLAYA DE SANTIAGO.



2 MUESTRA ↓

ESCALA HORIZONTAL: 1/250
ESCALA VERTICAL: 1/100

N.B. PARA LA LOCALIZACION DE LOS PERFILES REPORTARSE A LA FIG.2.

es una característica de las playas del Pacífico o solamente un caso particular entre algunas de ellas. Se requerirá buscar correlaciones entre la convexidad de los perfiles y el régimen de las olas.

El estudio geomorfológico de la bahía y de la playa de Santiago ha podido ser solamente bosquejado, por falta de suficientes datos. Quedan numerosos puntos a dilucidar. Los fenómenos tectónicos juegan un papel importante en la génesis de la bahía y de su ambiente. Un estudio más detallado de los accidentes tectónicos locales permitirá ver en qué medida determinan la traza de la bahía. Datos precisos sobre el régimen local de las olas y de las corrientes son indispensables para comprender cómo los sedimentos de la playa, que parecen de origen local, han podido emplazarse por el mar y para explicar igualmente las características geomorfológicas de esta playa. Se podrán establecer asimismo comparaciones con otras playas del litoral pacífico con objeto de crear una tipología de estas playas.

Agradecimientos.

Agradecemos a la Dra. María Teresa Gutiérrez de Mac Gregor, Directora del Instituto de Geografía de la UNAM, por las facilidades prestadas en la elaboración del presente trabajo.

Agradecemos también al Geóg. Mario Arturo Ortiz Pérez por su ayuda en el trabajo de campo y en la elaboración de los planos Núms. 1 y 2.

BIBLIOGRAFIA

- CALENDARIO GRAFICO DE MAREAS, 1972. Secretaría de Marina, Dirección General de Faros e Hidrografía, México 1971.
- ESTUDIO GEOGRAFICO DE LA REGION DE MANZANILLO, COL., 1973. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México, D. F. 363 p.
- FOLK ROBERT L., 1966. A Review of grain

size parameters. *Sediment.* vol. 6 No. 2, pp. 73-93.

-, 1969. Petrología de las rocas sedimentarias. Traducida del Inglés por Carmen Schlaepfer y Rebeca M. de Schmitter, Instituto de Geología, U.N.A.M., México, D. F., 405 pp.
- FOLK R. L.; WARD W. C., 1957. Brazos River bar, a study of the significance of grain size parameters. *Jour. Sedim. Petrol.* vol. 27, No. 1, p. 2-27.
- GUILCHER ANDRE, 1957. Morfología litoral y submarina, Barcelona, Ediciones Omega, S. A., 264 p.
- KRUMBEIN W. C. y SLOSS L. L., 1969. Estratigrafía y Sedimentación. U.T.E.H.A., México, 778 p.
- OSEGUERA-VELAZQUEZ JUAN, 1967. Colima en panorama. Monografía histórica, geográfica, política y sociológica. Colima.
- OTTMANN FRANCOIS, 1965. Introduction a la géologie marine et littorale. Paris, Masson, 259 p.
- PAGE HARRY G., 1955. Phi-millimeter conversion table. *Jour Sediment. Petrol.*, vol. 25, No. 4, pp. 285-292.
- PINOT JEAN-PIERRE, 1969. Plages in *Encyclopaedia Universalis*, vol. XIII, pp. 95-102.
- RESEÑA GEOLOGICA DEL ESTADO DE COLIMA, 1938. Universidad Nacional de México, Instituto de Geología, México, D. F., 10 p.
- TABLAS DE PREDICCIÓN DE MAREAS, 1972. Puertos del Océano Pacífico. Apéndice I, parte B, *Anales del Instituto de Geofísica*, U.N.A.M., vol. 17, México, 1971.
- VERGER F., AUPHAN E. et MONIOT Cl., 1972. La carte géomorphologique conçue comme un modele dynamique. *Mém. et doc. du C.N.R.S. (année 1971)* vol. 12, p. 223-263.
- WEST ROBERT C., 1964. *Handbook of Middle Americans Indians*. vol. 1: Natural Environment and Early Cultures. Austin University of Texas Press, 570 p.

es una característica de las playas del Pacífico o solamente un caso particular entre algunas de ellas. Se requerirá buscar correlaciones entre la convexidad de los perfiles y el régimen de las olas.

El estudio geomorfológico de la bahía y de la playa de Santiago ha podido ser solamente bosquejado, por falta de suficientes datos. Quedan numerosos puntos a dilucidar. Los fenómenos tectónicos juegan un papel importante en la génesis de la bahía y de su ambiente. Un estudio más detallado de los accidentes tectónicos locales permitirá ver en qué medida determinan la traza de la bahía. Datos precisos sobre el régimen local de las olas y de las corrientes son indispensables para comprender cómo los sedimentos de la playa, que parecen de origen local, han podido emplazarse por el mar y para explicar igualmente las características geomorfológicas de esta playa. Se podrán establecer asimismo comparaciones con otras playas del litoral pacífico con objeto de crear una tipología de estas playas.

Agradecimientos.

Agradecemos a la Dra. María Teresa Gutiérrez de Mac Gregor, Directora del Instituto de Geografía de la UNAM, por las facilidades prestadas en la elaboración del presente trabajo.

Agradecemos también al Geóg. Mario Arturo Ortiz Pérez por su ayuda en el trabajo de campo y en la elaboración de los planos Núms. 1 y 2.

BIBLIOGRAFIA

- CALENDARIO GRAFICO DE MAREAS, 1972. Secretaría de Marina, Dirección General de Faros e Hidrografía, México 1971.
- ESTUDIO GEOGRAFICO DE LA REGION DE MANZANILLO, COL., 1973. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México, D. F. 363 p.
- FOLK ROBERT L., 1966. A Review of grain

size parameters. *Sediment.* vol. 6 No. 2, pp. 73-93.

-, 1969. Petrología de las rocas sedimentarias. Traducida del Inglés por Carmen Schlaepfer y Rebeca M. de Schmitter, Instituto de Geología, U.N.A.M., México, D. F., 405 pp.
- FOLK R. L.; WARD W. C., 1957. Brazos River bar, a study of the significance of grain size parameters. *Jour. Sedim. Petrol.* vol. 27, No. 1, p. 2-27.
- GUILCHER ANDRE, 1957. Morfología litoral y submarina, Barcelona, Ediciones Omega, S. A., 264 p.
- KRUMBEIN W. C. y SLOSS L. L., 1969. Estratigrafía y Sedimentación. U.T.E.H.A., México, 778 p.
- OSEGUERA-VELAZQUEZ JUAN, 1967. Colima en panorama. Monografía histórica, geográfica, política y sociológica. Colima.
- OTTMANN FRANCOIS, 1965. Introduction a la géologie marine et littorale. París, Masson, 259 p.
- PAGE HARRY G., 1955. Phi-millimeter conversion table. *Jour Sediment. Petrol.*, vol. 25, No. 4, pp. 285-292.
- PINOT JEAN-PIERRE, 1969. Plages in *Encyclopaedia Universalis*, vol. XIII, pp. 95-102.
- RESEÑA GEOLOGICA DEL ESTADO DE COLIMA, 1938. Universidad Nacional de México, Instituto de Geología, México, D. F., 10 p.
- TABLAS DE PREDICCIÓN DE MAREAS, 1972. Puertos del Océano Pacífico. Apéndice I, parte B, *Anales del Instituto de Geofísica*, U.N.A.M., vol. 17, México, 1971.
- VERGER F., AUPHAN E. et MONIOT CL., 1972. La carte géomorphologique concue comme un modele dynamique. *Mém. et doc. du C.N.R.S. (année 1971)* vol. 12, p. 223-263.
- WEST ROBERT C., 1964. *Handbook of Middle Americans Indians*. vol. 1: Natural Environment and Early Cultures. Austin University of Texas Press, 570 p.