

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



ESTIMACION DE OLEAJE EXTREMO A PARTIR DEL ANÁLISIS DE CLASTOS EN COSTAS ROCOSAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL
GRADO
DE MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA

Oc. José Isidoro Peredo Jaime

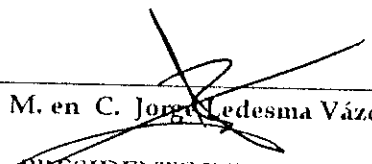
Ensenada, B.C., agosto de 1994

ESTIMACIÓN DE OLEAJE EXTREMO A PARTIR DEL ANÁLISIS DE CLASTOS EN COSTAS ROCOSAS

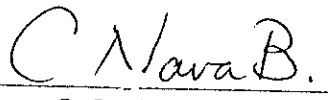
TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA

Oc. José Isidoro Peredo Jaime

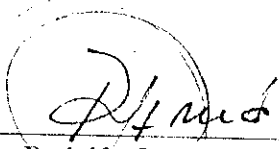
APROBADA POR:


M. en C. Jorge Ledesma Vázquez

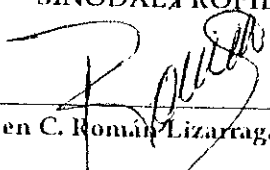
PRÉSIDENTE DEL JURADO


M. en C. Cuahutemoc Nava Button

SINODAL PROPIETARIO


Dr. Rodolfo Cruz Orozco

SINODAL PROPIETARIO


M. en C. Román Lizarraga Arciniega

SINODAL PROPIETARIO

Ensenada, B.C., agosto de 1994

AGRADECIMIENTOS

Deseo hacer patente mi agradecimiento a mis asesores y sinodales:

Al M.C. Jorge Ledezma Vásquez por su acertada dirección en mis estudios de maestría, su entusiasmo y asesoría, factores necesarios para la realización de esta etapa de superación académica.

Al M.C. Cuauhtémoc Nava Button compañero de generación y amigo, cuya experiencia en oleaje, correcciones y consejos fueron fundamentales para la realización de esta tesis.

Al Dr. Rodolfo Cruz Orozco compañero por sus acertadas críticas y correcciones que han enriquecido la calidad de este trabajo.

Al M.C. Román Lizárraga Arcineaga, colega cuyas acertadas observaciones contribuyeron sustancialmente a la realización de esta tesis.

Deseo también agradecer de una manera especial a la Universidad Autónoma de Baja California Sur, por su invaluable apoyo para la realización de mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, cuyos apoyos son un pilar fundamental para el desarrollo científico en nuestra nación.

A la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, por el entusiasta esfuerzo que realiza para otorgar a México mejores profesionistas.

Al proyecto UABC4026 Líneas de Costas Rocosas en Baja California.

Al Doctor Jorge de la Rosa, Director de la Facultad de Ciencias Marinas, quien siempre ha brindado su amistad y apoyo a todos los estudiantes del programa de posgrado de la facultad.

A la familia Spengler por su gran amistad y apoyo incondicional.

Me place también de una manera especial agradecer a mi amigo Roberto Vásquez, quien en más de una ocasión sufrió el embate de las olas de San Miguel nada más por ayudarme.

De igual manera estoy en deuda con los Oceanólogos de las generaciones números 34 y 35 quienes participaron entusiastamente en el trabajo de campo.

En esta importante sección no deben faltar los Geólogos Ernesto Ramos y Alejandro Vásquez, el Ingeniero Efraín Cornejo Luna, así como el Sr. Gilberto Vázquez Gutiérrez, quienes colaboraron con la elaboración de las tablas y dibujos de este trabajo.

A la Geóloga Sonia Gutiérrez Sánchez por su amistad y gestión en los trámites previos al examen de grado.

Al grupo de trabajo de la Dirección General de Difusión Cultural y Extensión Universitaria de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, quienes pusieron todo su empeño y dedicación en la edición de esta tesis.

Aun cuando se escribe cerca del final de la lista, no es menos importante mi deseo de manifestar a mi familia, Lolita, Jorge, Claudia y Joselin, mi total gratitud por su paciencia, comprensión y apoyo en esta etapa de prueba, que sirvió para demostrar, una vez más, que formamos un gran equipo.

Mi agradecimiento incluye a todos aquellos que directa o indirectamente participaron en la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

A MI ESPOSA

LOLIN

A MIS HIJOS

JOSELIN DENE
CLAUDIA RIGEL
JORGE ENRIQUE

A MIS PADRES

JORGE Y MARIA DE LA SOLEDAD

A MIS HERMANOS

JORGE
MARICARMEN
DANIEL
RICARDO
MAURICIO
MARISOL
ROCIO

IN MEMORIAM A

MYRNA CARDENAS

GRAN AMIGA Y COMPAÑERA SCOUT QUIEN
DURANTE EL TERREMOTO DE 1985 EN UN
EJEMPLO DE AMOR TOTAL OFRECIO SU
VIDA PARA SALVAR LA DE OTROS.

INDICE

APROBACION	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iv
INDICE	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	2
2. ANTECEDENTES	2
3. OBJETIVO	8
4. AREAS DE ESTUDIO	8
4.1 SAN MIGUEL, B.C., MEXICO	8
4.2 LAS MINAS, B.C., MEXICO	15

5.	METODOLOGIA	23
5.1	MODELO DE HUDSON	23
5.1.1	SUPOSICIONES DEL MODELO	28
5.2	CALIBRACION DEL MODELO	28
5.2.1	PENDIENTE DE PLAYA	29
5.2.2	TIPO Y DENSIDAD DE LA ROCA	31
5.2.3	RELACIÓN ENTRE ALTURA DE LAS OLAS Y TAMAÑO DE LOS CLASTOS MOVIDOS POR ELLAS	31
5.2.3.1	TAMAÑO DE LOS CLASTOS	32
5.2.3.2	ALTURA DE LAS OLAS	33
5.2.3.3	RELACIÓN ENTRE ALTURA DE LAS OLAS Y TAMAÑO DE LOS CLASTOS MOVIDOS POR ELLAS	36
5.3	ESTIMACION DEL OLEAJE EXTREMO	37
5.3.1	SAN MIGUEL	37
5.3.2	LAS MINAS	38
6.	RESULTADOS	39
6.1	PLAYA DE SAN MIGUEL	39
6.1.1	PENDIENTE DE PLAYA	39

6.1.2	CARACTERISTICAS DE LOS CLASTOS MOVIDOS POR EL OLEAJE	39
6.1.3	RELACION ENTRE LA ALTURA DEL OLEAJE Y EL DIAMETRO DE LOS CLASTOS	42
6.1.4	CALIBRACION DEL MODELO DE HUDSON (1959) ..	46
6.2	LAS MINAS	47
6.2.1	PENDIENTE DE PLAYA	47
6.2.2	DIMENSIONES DE LOS CLASTOS	47
6.2.3	ALTURA DEL OLEAJE EXTREMO	49
7.	DISCUSION	51
8.	CONCLUSIONES	55
9.	APENDICE	57
10.	BIBLIOGRAFIA	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del área de estudio correspondiente a la playa de San Miguel	9
Figura 2.	Batimetría de La Bahía de Ensenada (tomado de Ulloa, 1989)	11
Figura 3.	Principales rasgos geológicos de la región de Ensenada. (Tomado y adaptado de Gastil et al, 1975)	12
Figura 4.	Localización de la zona de Las Minas, B.C.	16
Figura 5.	Afloramiento del Cretácico Superior de la Formación Rosario, donde es visible un conglomerado de clastos andesíticos bien redondeados derivados de la erosión de los flujos volcánicos de la Formación Alisitos (Cretácico Inferior)	17
Figura 6.	Distribución de la Formación Rosario, Cretácico Superior, en el área de Las Minas, B.C. (Tomado de Lescinsky et al 1991)	18
Figura 7.	Columna estratigráfica de la Formación Rosario en el afloramiento correspondiente a Las Minas I (tomado de Lopez-Morteo, 1993)	20
Figura 8.	Columna estratigráfica de la Formación Rosario en el afloramiento correspondiente a Las Minas II. (tomado de Lescinsky et al (1991)	22
Figura 9.	Ubicación de los transectos de playa que se usaron para determinar, mediante perfiles, la pendiente promedio del frente de playa	30

Figura 10.	La distancia entre la rompiente y el observador se calculó por triangulación	34
Figura 11.	El estadal se colocó sobre la playa a una distancia igual a la que separaba al observador de la rompiente	35
Figura 12.	Mediante el auxilio de un lápiz, se trazó una visual que abarcaba desde la base del frente de la ola rompiente hasta la cresta de la misma	35
Figura 13.	La altura de la ola se midió al hacer coincidir los límites visuales superior e inferior con la escala del estadal	37
Figura 14.	Perfiles de playa de la localidad de San Miguel, obtenidos el 28 de agosto y el 5 de noviembre de 1992, así como el 9 de enero y el 10 de febrero de 1993, que se usaron para determinar el ángulo promedio de inclinación (α) del frente de playa	40
Figura 15.	Pendientes del frente de playa para los perfiles del transecto I; se muestra la fecha de medición, así como los valores de las coordenadas y el ángulo tangente correspondiente al frente de playa; la inclinación promedio fue de 14.5°	41
Figura 16.	Pendientes del frente de playa para los perfiles del transecto II; se muestra la fecha de medición, así como los valores de las coordenadas y el ángulo tangente correspondiente al frente de playa; la inclinación promedio fue de 18.97°	41

Figura 17.	Recta de ajuste de los datos de altura del oleaje y diámetro nominal promedio (D_m) de los clastos más grandes movidos por el oleaje, de los datos de altura del oleaje y diámetro nominal de los clastos más grandes (D_{01}) movidos por el oleaje, del modelo de Hudson (1959) antes de su calibración y del modelo calibrado de Hudson (1959)	44
------------	---	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores de los períodos de retorno de H_s (en metros) para 50 y 100 años, obtenidos a partir de la distribución de Fisher-Tippett I. (Coria, 1991)	3
Tabla 2.	Número de clastos marcados en cada serie	32
Tabla 3.	Relación entre la máxima altura del oleaje, el diámetro nominal promedio de los clastos (D_m) y el diámetro nominal del clasto mayor (D_{01})	43
Tabla 4.	Diámetro nominal (D), en cm de los clastos redondeados más grandes encontrados en la playa de San Miguel	45
Tabla 5.	Valores de la altura del oleaje calculados por medio de los modelos obtenidos a partir de las rectas de regresión y del modelo teórico propuesto para D_m y D_{01} de los clastos redondeados más grandes encontrados en la playa de San Miguel	45
Tabla 6.	Diámetro nominal (D) en cm de los clastos de la localidad de Las Minas I, capa No. 6, promedio de los diámetros nominales de los clastos más grandes (DMG_m) y diámetro nominal del clasto más grande (DMG_{01})	48
Tabla 7.	Diámetro nominal (D) en cm de los clastos de la localidad de Las Minas I, capa No 7, promedio de los diámetros nominales de los clastos más grandes (DMG_m) y diámetro nominal del clasto más grande (DMG_{01})	48

Tabla 8.	Diámetro nominal (D) en cm de los clastos de la localidad de Las Minas II, conglomerado basal, promedio de los diámetros nominales de los clastos más grandes (DMG_m) y diámetro nominal del clasto más grande (DMG_{01})	49
Tabla 9.	Estimación de la altura del oleaje extremo para diferentes valores del ángulo de inclinación del frente de playa (α), aplicando el modelo calibrado de Hudson (1959) en base a los diámetros nominales (D_{01}), para las localidades de San Miguel y Las Minas	50

RESUMEN.

El modelo de Hudson (1959) se empleó para relacionar el tamaño de los clastos de costas rocosas con la altura de las olas rompientes capaces de moverlos. Para su calibración se hicieron mediciones de altura de olas y del tamaño de los clastos movidos por éstas en la costa rocosa de San Miguel, B.C., México. Los resultados mostraron una relación lineal entre el diámetro D de los clastos y la altura H de las olas. La ecuación obtenida a partir del modelo calibrado de Hudson fue $H = 4.69D$ (en metros) para una densidad de roca de 2.7 g/cm^3 , un coeficiente de estabilidad de 14.0, y una pendiente promedio del frente de playa de 17° . Se estimó una altura de 6.70m para el oleaje extremo, a partir del diámetro nominal de la partícula más grande que mostró evidencia de haber sido movida por el oleaje. El modelo calibrado se aplicó en el afloramiento de la Formación Rosario en Las Minas, B.C., considerando el diámetro nominal del clasto de mayor tamaño que mostró evidencia de haber sido movido por el oleaje, una pendiente del frente de playa de 17° y una densidad de la roca andesítica de 2.7 g/cm^3 , obteniéndose que la altura del oleaje extremo en el Cretácico Superior capaz de mover los bloques de mayor tamaño fue de 6.05 m.

1. INTRODUCCION.

No todos los puertos cuentan con registros de oleaje confiables para el cálculo de la altura de las olas extremas por lo que, para su estimación, se propone en esta investigación recurrir a la información almacenada en las características geológicas de las costas rocosas.

Cuando existe una costa con clastos cuyos tamaños y formas permiten hacer una clara distinción entre los que están siendo retrabajados por la acción del oleaje y los que no, es posible obtener una relación entre el tamaño de los clastos y la altura de las olas rompientes capaces de moverlos. La extrapolación a los clastos más grandes puede considerarse como una estimación de la altura del oleaje extremo.

2. ANTECEDENTES.

Los daños que ocurren en las costas se pueden evitar, o al menos disminuir su magnitud, si al planear la construcción de las obras marítimas se cuenta con un registro confiable de oleaje que permita determinar las dimensiones de la ola más grande esperada en un período de 50 ó 100 años (ola de diseño).

El registro de oleaje en la Bahía de Ensenada ha permitido aplicar diversos modelos de oleaje para la estimación de la ola significativa extrema. Coria (1991) obtuvo estimaciones de las alturas significantes de las olas con períodos de retorno de 50 y 100 años, cuyas magnitudes fueron de 3.74 y 3.97 m respectivamente. (Tabla 1).

ESTACION DEL AÑO	FISHER TIPPETT I	
	H_{50}	H_{100}
Primavera	3.35	3.70
Verano	1.85	1.94
Otoño	2.82	2.94
Invierno	3.74	3.97
Todos los datos	3.41	3.76

Tabla 1. Valores de los periodos de retorno de H_s (en metros) para 50 y 100 años, obtenidos a partir de la distribución de Fisher-Tippett I. (Coria, 1991).

Información como la citada permite el diseño de obras de protección costera con un apoyo estadístico confiable, garantizando la máxima protección posible.

Un método alternativo para estimar las dimensiones del oleaje en condiciones extremas, para una región en particular, podría basarse en la

relación existente entre las características de las estructuras sedimentarias y las propias del oleaje de alta energía.

Cada uno de los estratos de las secuencias sedimentarias refleja toda una gama de condiciones hidrodinámicas que han quedado impresas como huellas dactilares de los niveles de energía y tipos de flujo que les dieron origen. Es sólo a través de la cuidadosa observación y comparación entre los ambientes antiguos y modernos que podemos entender y modelar la serie de acontecimientos que debieron de haber ocurrido para dar origen a las secuencias en estudio.

La dinámica de los fluidos en la zona costera y en los canales fluviales se manifiesta de manera distinta en las estructuras sedimentarias primarias; por ejemplo, las ondulitas asimétricas bidimensionales son típicas de flujos unidireccionales, mientras que las ondulitas simétricas, como las hamacadas, son típicas de ambientes costeros sujetos a un régimen de oleaje de alta energía (Dyer, 1986).

En las costas sujetas a grandes tormentas, la elevación del nivel del mar por efecto del viento, el flujo de energía y la gran turbulencia generada por el rompimiento de las olas, producen una rápida modificación del perfil original de la costa; la acción del oleaje remueve el material del frente de playa y lo

deposita en una área próxima a la zona de rompiente (Swift, 1983). Durante este proceso, la conjugación del flujo unidireccional de la corriente de fondo, con la oscilación de las partículas de agua al paso de la ola, produce las estratificaciones cruzadas, acunada y hamacada, relativas al incremento de profundidad.

La gran cantidad de energía liberada por las olas de tormenta sobre la línea de costa, tiene la suficiente competencia para mover cantos y bloques que se acumulan en un horizonte que constituirá el depósito de playa, el cual, junto con las estructuras sedimentarias entrecruzadas, localizadas atrás de la zona de rompientes, encierra información relacionada con el oleaje que lo conformó.

Los sedimentólogos han tratado de describir cualitativamente las características del oleaje a partir de las estructuras sedimentarias primarias encontradas tanto en afloramientos antiguos de costas rocosas, como en costas modernas. Entre los trabajos relativos al tema, podemos citar los de Clifton (1976), Allen (1979), Miller y Komar (1980a) y Nielsen (1981).

Clifton (1976) desarrolló un modelo conceptual para explicar, en una región específica, la progresión hacia la costa de las estructuras sedimentarias producida por olas someras, relacionando la velocidad orbital, la asimetría de

velocidades y el tamaño medio de grano, para valores fijos del período de la ola.

Allen (1979) desarrolló una gráfica basada en datos de campo y experimentales que muestra cómo puede relacionarse el diámetro de las partículas sedimentarias con la máxima velocidad orbital, para definir el tipo de estructuras sedimentarias que pueden conformarse.

Miller y Komar (1980a y b) y Nielsen (1981), mediante estudios, tanto de laboratorio como de campo, encontraron que es posible relacionar la longitud de onda de las estructuras sedimentarias con el diámetro orbital sobre el lecho, de las partículas de arena al paso de la ola. Esta relación, aunque importante, sólo nos permite hacer estimaciones aproximadas de las características del oleaje que les dio origen, puesto que para cada valor del diámetro orbital existe una gran cantidad de combinaciones entre el período de las olas, su altura y su profundidad.

Aun cuando existen algunos trabajos conducentes a investigar la relación entre el tamaño de las partículas de gravas finas y la velocidad umbral de flujos unidireccionales (Hammond et al, 1984; Li y Komar, 1986; y Komar y Li, 1988) los únicos reportes, a la fecha, de investigaciones relativas a encontrar la relación entre el tamaño de las partículas mayores (cantos y bloques) y las características del oleaje capaz de ponerlas en movimiento son el de Dott (1974)

y el de López-Morteo (1993).

Hammond et al (1984) encontraron que la velocidad crítica de fricción necesaria para poner en movimiento las partículas de grava con diámetros en el rango de 0.2 a 5.0 cm es proporcional a la magnitud del diámetro equivalente elevado a la 0.2 potencia, y que para valores dentro del rango y próximos a 5.0 cm, la magnitud de la velocidad crítica de fricción es menor a la que podría obtenerse mediante el modelo de Shields.

Li y Komar (1986), y Komar y Li (1988) estudiaron en el laboratorio las relaciones entre la forma y tamaño de las partículas, la imbricación del sedimento, el ángulo de reposo y la velocidad crítica de fricción, para partículas de hasta 2 cm de diámetro.

Dott (1974) hizo estimaciones de la altura del oleaje capaz de transportar bloques de ortocuarcita de 1.5m de diámetro en un ambiente costero del Cámbrico tardío. De acuerdo a su modelo estos bloques fueron removidos por olas de 7.6 m de altura, sin embargo el modelo no considera la influencia que ejerce la pendiente del depósito en la relación entre la altura del oleaje y el tamaño de las partículas, parámetro que de acuerdo a CERC (1984) tiene una marcada influencia sobre la capacidad que el oleaje tiene para mover a las partículas de sedimento.

López-Morteo (1993) determinó condiciones de oleaje en líneas de costa antiguas mediante el empleo del modelo de Komar y Li (1988); su trabajo teórico no tuvo un soporte experimental, lo que significó un impedimento para determinar el parámetro de turbulencia del modelo; sus resultados indican una altura de oleaje extremo de 1.13 m y de 2.9m para las áreas de estudio de Las Minas I y de Las Minas II respectivamente.

3. OBJETIVO.

El objetivo de este trabajo es mediante el modelo de Hudson (1959) estimar la altura del oleaje extremo al que han estado sujetas dos localidades: a) Costa rocosa de San Miguel (Holoceno) y b) Costa rocosa de Las Minas (Cretácico Superior).

4. AREAS DE ESTUDIO.

4.1. SAN MIGUEL, B.C., MEXICO.

La playa de San Miguel está localizada entre Punta San Miguel y San Miguel (Long. $116^{\circ} 45' W$ y Lat. $31^{\circ} 54' N$), dentro de la Bahía de Todos Santos al noroeste de la ciudad de Ensenada B.C. La vía de acceso es siguiendo la Carretera Internacional Tijuana-Ensenada y tomando la desviación a San Miguel señalada en el Kilómetro 94. (Figura 1).

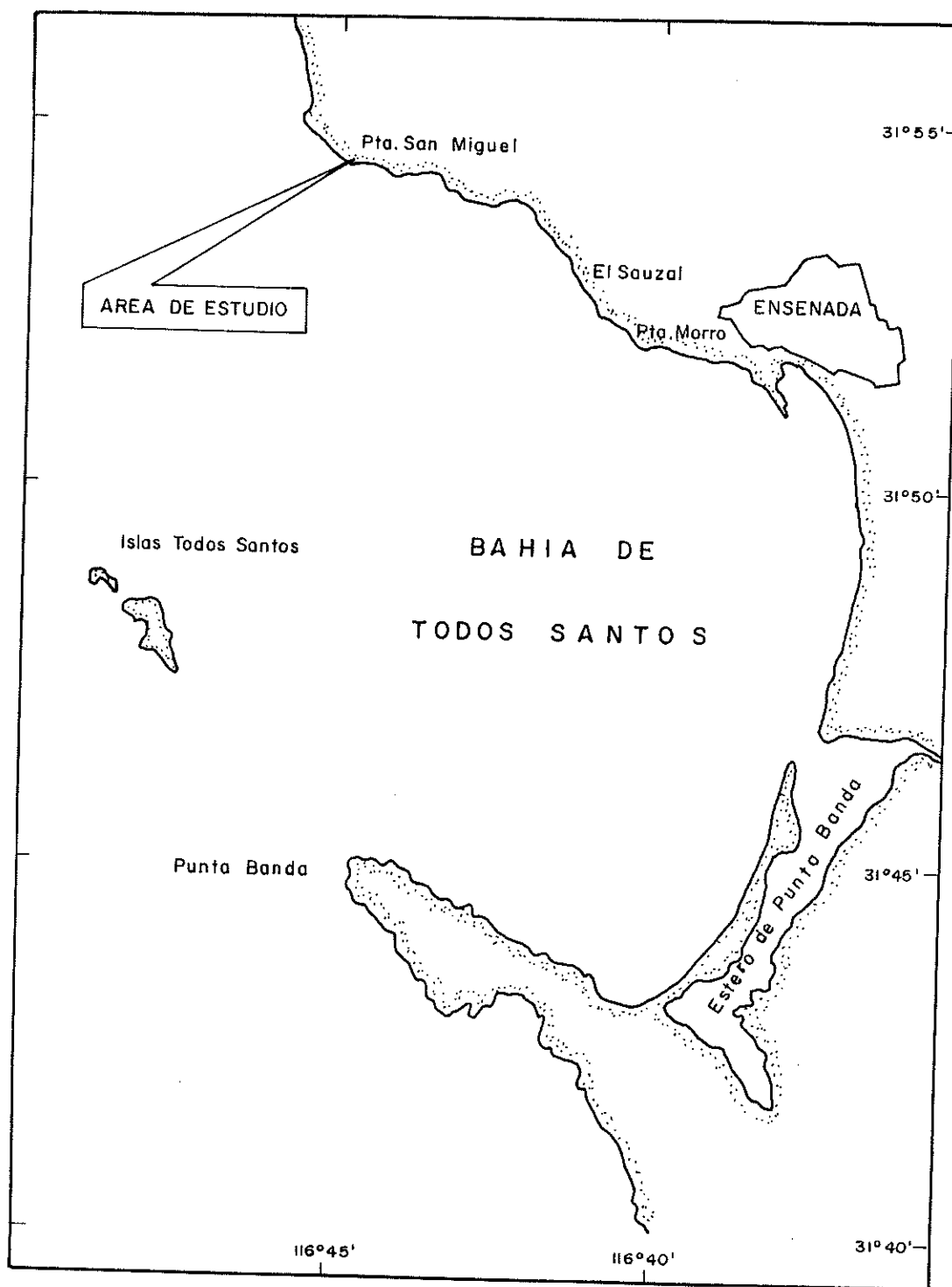


Figura 1. Localización del área de estudio correspondiente a la playa de San Miguel.

La Bahía de Todos Santos es de origen tectónico y está formada principalmente por rocas del Cuaternario, del Mioceno y del Cretácico (Gastil et al, 1975).

La batimetría de la Bahía de Todos Santos se caracteriza por que cerca del 80 por ciento de su superficie se encuentra a menos de 50 metros de profundidad; las máximas profundidades se localizan frente a Punta Banda. (Figura 2).

Los principales rasgos geológicos de la región de Ensenada fueron descritos por Gastil et al en 1975. (Figura 3).

Frente al cordón montañoso de Punta Banda, separadas por un profundo cañón submarino de más de 400 metros de profundidad, se encuentran las islas de Todos Santos; dos islas formadas de rocas predominantemente andesíticas, con un pequeño depósito de sedimentos del Mioceno (Agüero, 1986).

La zona de San Miguel se caracteriza por estar compuesta por arenas de grano medio a grueso, mal clasificadas y poco redondeadas provenientes del arroyo del Carmen; el área adyacente a la desembocadura del arroyo es una playa rocosa con bermas compuestas de clastos basálticos bien

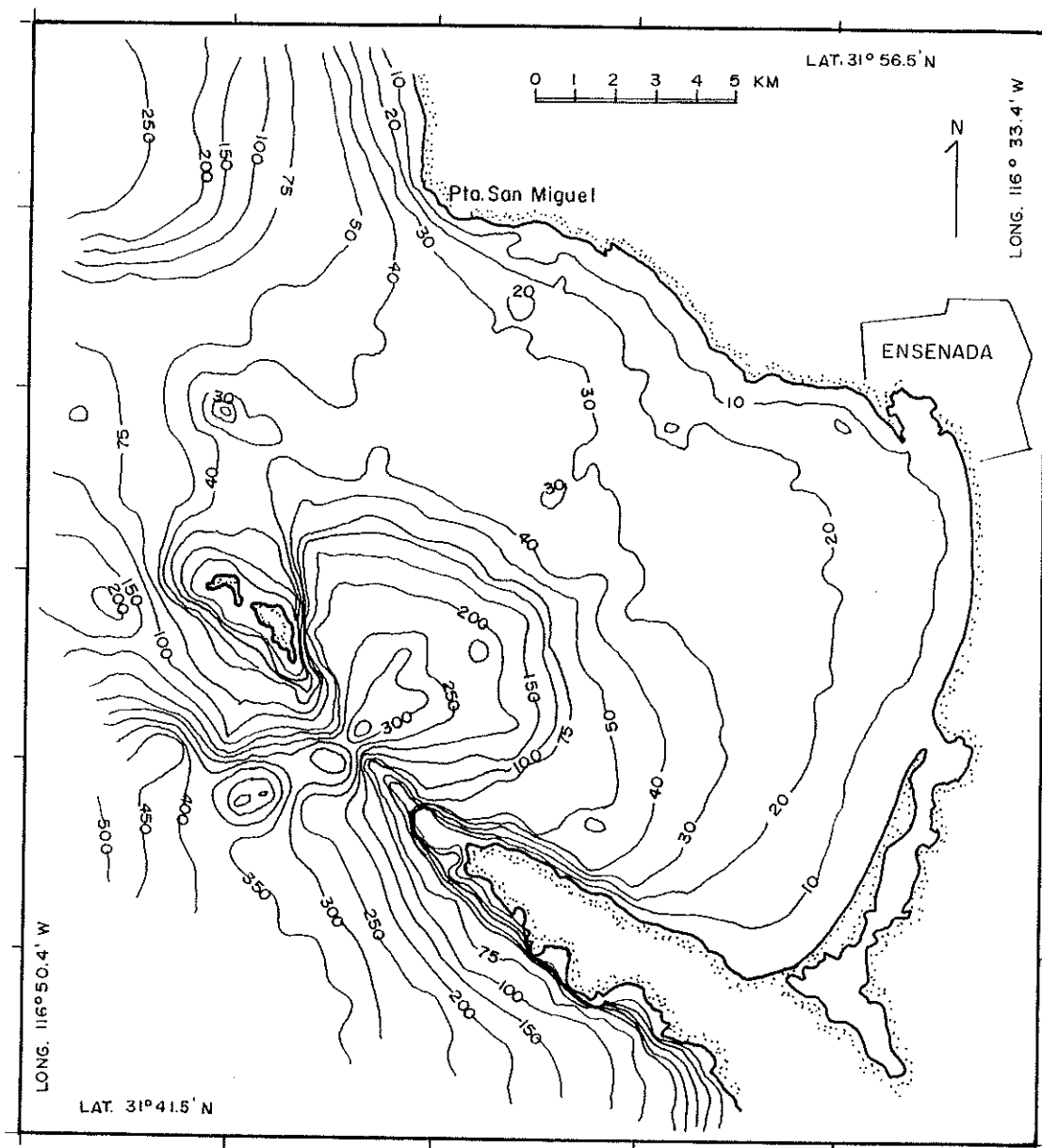
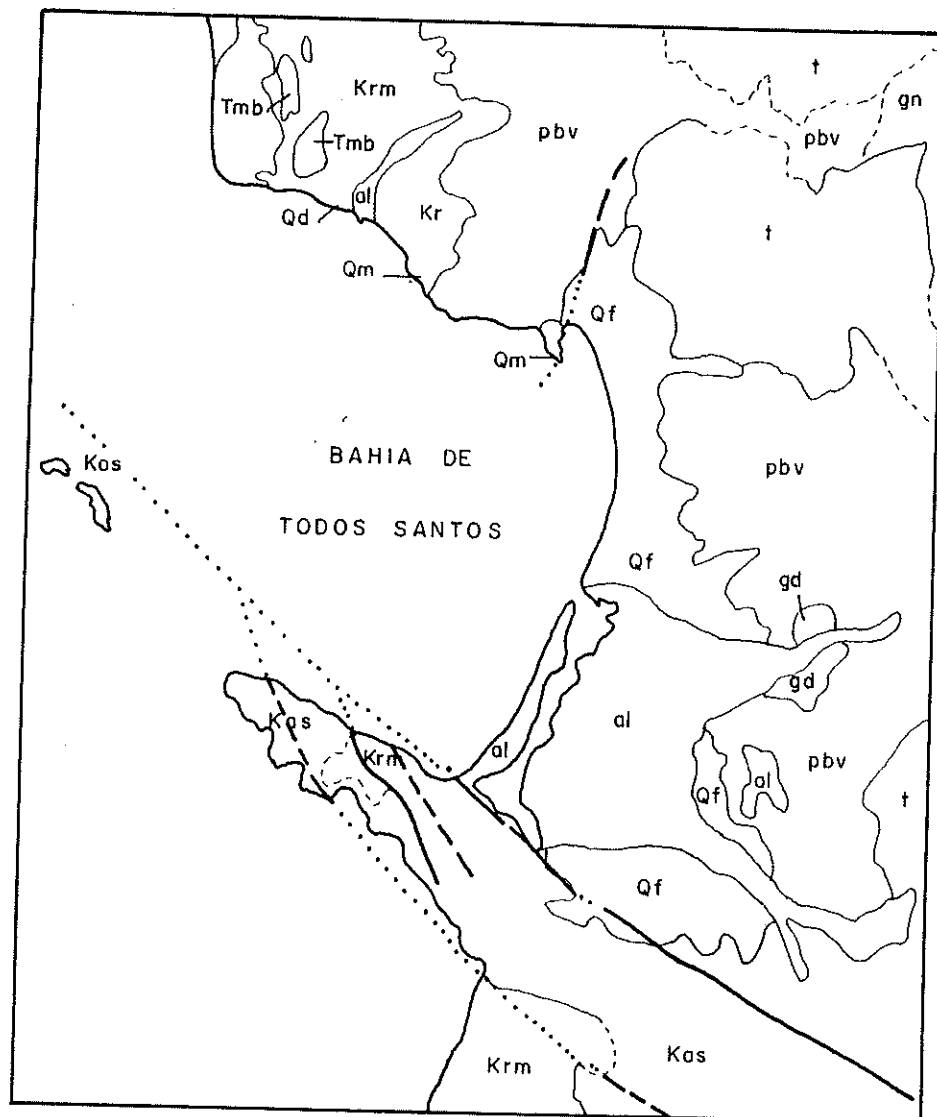


Figura 2. Batimetría de La Bahía de Ensenada (tomado de Ulloa, 1989).



ROCAS POST-BATOLITICAS		ROCAS BATOLITICAS	
al	ALUVION (CUATERNARIO)	gd	GRANODIORITA
Qd	MEDANOS (CUATERNARIO)	t	TONALITA
Ql	LACUSTRE (CUATERNARIO)	ROCAS PRE BATOLITICAS	
Qf	FLUVIAL (CUATERNARIO)	Pbv	VOLCANICAS NO DIFER.
Qm	MARINO (CUATERNARIO)	gn	GNEISS
Tmb	BASALTO (MIOCENO)	Kas	FORMACION ALISITOS
Kr	GRUPO ROSARIO (CRETACICO)		
Krm	MARINO (CRETACICO)		

Figura 3.

Principales rasgos geológicos de la región de Ensenada. Tomado y adaptado de Gastil et al, (1975).

redondeados altamente vesiculares provenientes de la Formación Rosarito Beach del Mioceno Medio, cuyo diámetro varía desde unos cuantos centímetros hasta 1.4 metros.

El clima de la región corresponde al tipo semi-seco mediterráneo y está caracterizado por fuertes brisas que ocurren principalmente entre los meses de mayo a julio (Plaza, 1979).

Durante los meses cálidos del año, los vientos provienen del Noroeste y su intensidad promedio es de 4 m/s; durante el otoño es común la presencia de vientos con bajo contenido de humedad y con intensidades del orden de los 20 m/s, del este y noroeste denominados "Condición de Santa Ana", mientras que el resto del año los vientos son típicamente del oeste y noroeste con intensidades promedio de 5 m/s (Alvarez, 1971).

El tipo de tormentas que afectan la Bahía de Todos Santos corresponden a dos tipos: tormentas tropicales y ciclones de invierno. Las primeras se originan en las zonas intertropicales del Océano Pacífico, generalmente frente al Golfo de Tehuantepec, durante el período que abarca los meses de mayo a noviembre, con la máxima génesis durante el mes de septiembre; las segundas, se originan en altas latitudes durante los meses de diciembre a marzo, y son de gran intensidad cuando está presente la

intensificación occidental, manifestándose con abundantes lluvias, fuertes vientos y oleaje de alta energía (Contreras, 1985).

Las olas que alcanzan la línea de costa de la Bahía de Ensenada tienen básicamente dos orígenes, el Hemisferio Norte y el Hemisferio Sur del Océano Pacífico. Las olas del Hemisferio Norte se originan durante los ciclones de invierno aproximadamente en las latitudes del Japón e Islas Aleutianas (Plaza, 1979), o bien en la región central del Océano Pacífico (Villagrán, 1992). Las olas que provienen del Hemisferio Sur se originan en las latitudes de Australia y Nueva Zelanda durante las tormentas del invierno austral, abarcando el período de mayo a septiembre (Plaza, 1979). De acuerdo a Plaza (1979) las olas que arriban a la Bahía de Ensenada durante el invierno típicamente provienen del Noroeste, mientras que las correspondientes al verano provienen del Suroeste.

Utilizando observaciones del oleaje de la Bahía de Todos Santos realizadas durante el período que abarca de 1986 a 1989, Coria (1991) encontró que la altura del oleaje con períodos de retorno de los 50 y 100 años fue de 3.74 y 3.97 metros respectivamente. Sin embargo, hay datos como los de Seymour (1989a) que reportan olas de agua profunda de 6.00 m de altura, frente a la bahía, que corresponden a un período de retorno de 200 años.

4.2. LAS MINAS, B.C., MEXICO.

Las Minas está localizada también en la costa del Pacífico del Estado de Baja California ($31^{\circ} 19'N$ y $116^{\circ} 24'W$), cerca de Las Minas, aproximadamente a medio camino entre Punta Cabras al norte y Punta San Isidro al Sur. La vía de acceso es siguiendo la brecha costera que parte del poblado pesquero de Eréndira con rumbo Noroeste. (Figura 4).

La localidad de Las Minas comprende dos áreas de estudio. La primera, a la que llamaremos Las Minas I, está aproximadamente a 7 km al Noroeste del puerto pesquero de Eréndira; y la segunda, a la que llamaremos Las Minas II, se encuentra sobre la misma vía separada de la primera por una distancia de 3 km hacia el noroeste.

Estas dos áreas se caracterizan por la presencia de un afloramiento del Cretácico Superior de la Formación Rosario, donde son visibles uno o varios conglomerados de clastos andesíticos bien redondeados derivados de los flujos volcánicos de la Formación Alisitos (Cretácico Inferior) (Figura 5). El análisis de estos afloramientos realizado por Lescinsky et al (1991) indica que el área corresponde a una línea de costa rocosa, que durante el Cretácico Superior fue altamente influenciada por el oleaje de tormenta.

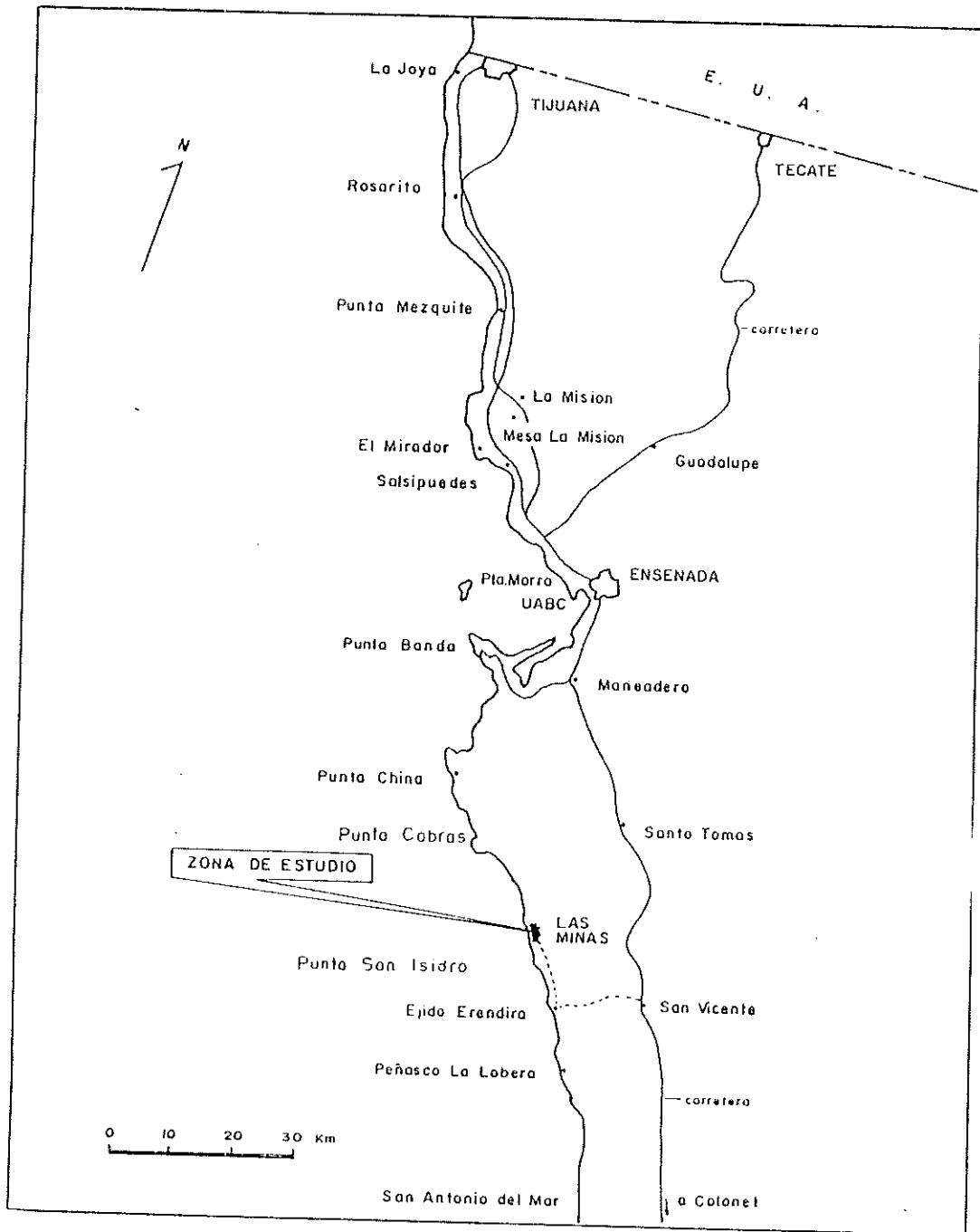


Figura 4. Localización de la zona de Las Minas, B.C.



Figura 5. Afloramiento del Cretácico Superior de la Formación Rosario donde es visible un conglomerado de clastos andesíticos, bien redondeados, derivados de la erosión de los flujos volcánicos de la Formación Alisitos (Cretácico Inferior).

La costa norpacífica del Estado de Baja California se caracteriza por poseer dos importantes unidades del Crétacico. La más antigua, que corresponde a la Formación Alisitos descrita por Allison en 1974 (cuya edad calculada en base a la fauna fósil de moluscos se ubica en el Aptiano-Albiano), está integrada por una serie de capas de caliza interestratificadas con flujos andesíticos, brechas y tobas. La segunda unidad, más joven, corresponde a la Formación Rosario descrita por Beal en 1948 y cuya edad, según Silver et al (1963) y Bárcenas (1988), debe ubicarse en el Campaniano-Maastrichiano. (Figura 6).

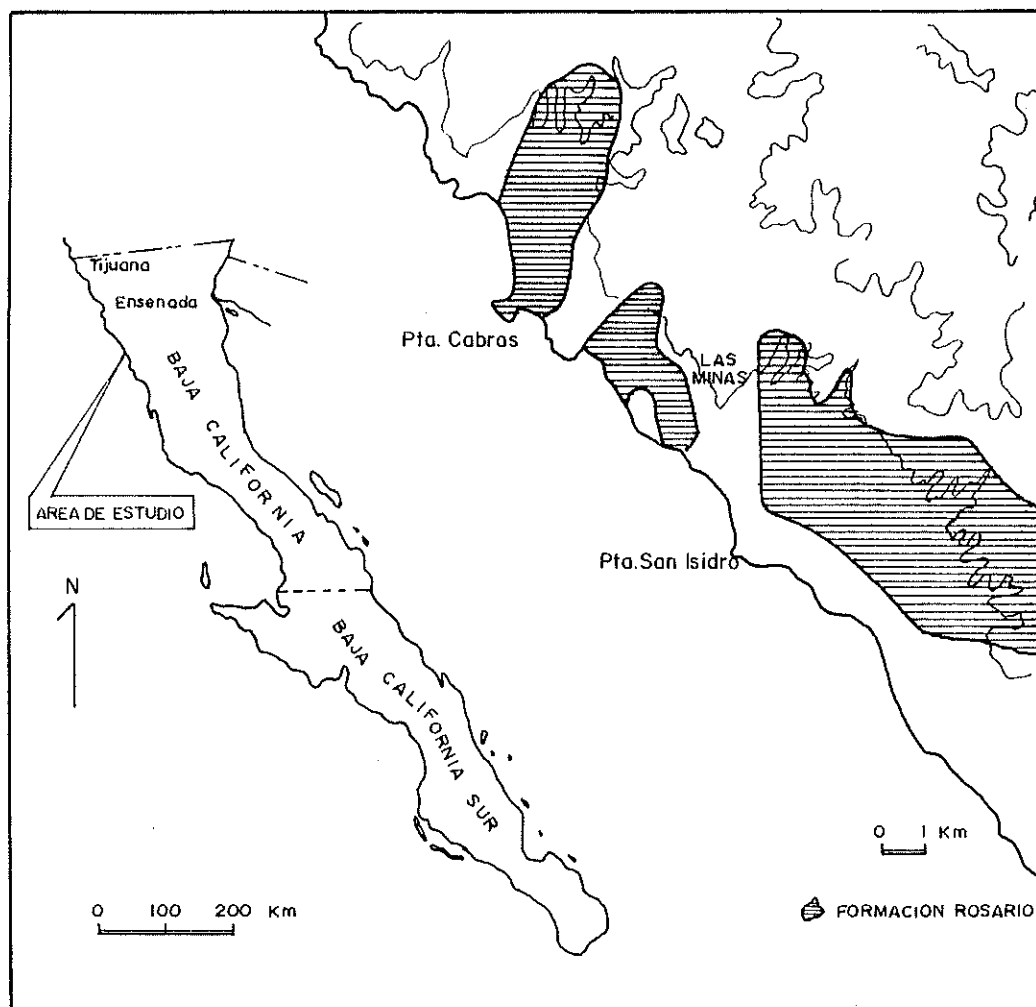
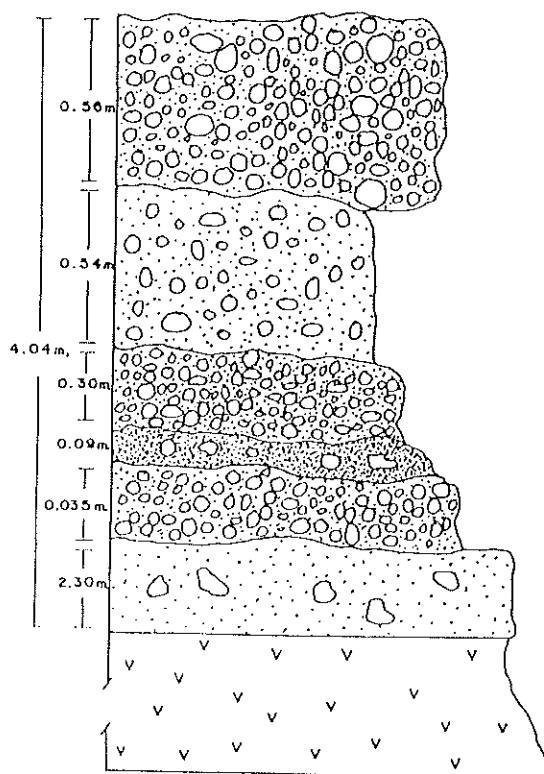


Figura 6. Distribución de la Formación Rosario, Crétacico Superior, en el área de Las Minas, B.C. (Tomado de Lescinsky et al 1991).

La Formación Rosario está compuesta principalmente de lutitas, areniscas y conglomerados provenientes de la erosión e intemperismo de la Formación Alisitos. Durante un hiatus de entre 13 a 15 millones de años, tuvo lugar la intrusión del Batolito Peninsular (Gastil et al., 1975).

En las Minas I, la columna estratigráfica está compuesta por estratos de conglomerados marinos polimícticos con arenisca calcárea intersticial López-Morteo (1993). En toda la sección, (Figura 7), se observan secuencias de estratos graduados que van de un conglomerado basal a areniscas conglomeráticas (capas 1, 2 y 3).

Las capas de la columna estratigráfica muestran una serie de eventos de tormenta que son evidentes debido a la presencia de material fosilífero fragmentado y de partículas muy angulosas de tipo terrígeno. La presencia de las capas de conglomerado es evidencia de un ambiente de alta energía; el de la capa superior, con partículas de hasta 91 cm de diámetro, puede evidenciar el frente de playa o un área próxima a él, mientras que el inferior, con clastos máximos de 16 cm de diámetro, podría corresponder a una área de mayor profundidad, donde la influencia del oleaje sobre los clastos es relativamente menor.



FORMACION ROSARIO, CRETACICO SUPERIOR

CAPA 4. Conglomerado polimíctico graduado normalmente con matriz de arenisca de grano grueso (1.35ϕ) pobremente clasificada, color café pardo. Restos angulosos de fósiles.

CAPA 3. Arenisca caldrea de tamaño medio (2.1ϕ) pobremente clasificada, color café pardo, presenta clastos de tamaño mediano (paraconglomerado). Fragmentos de organismos fósiles.

CAPA 2. Conglomerado polimíctico masivo, con matriz de grano grueso (-0.017ϕ) pobremente clasificada, color café pardo. Fragmentos de organismos fósiles rudistas.

CAPA 1. Arenisca de grano medio (2.24ϕ) pobremente clasificada, color café pardo, algunos clastos grandes soportados por la arena.

Coquina compuesta por restos angulosos de rudistas, no muestran retrabajo.

Arenisca conglomerática de color café claro con algunos clastos flotando en una matriz de arena.

Discordancia angular

FORMACION ALISITOS CRETACICO INFERIOR

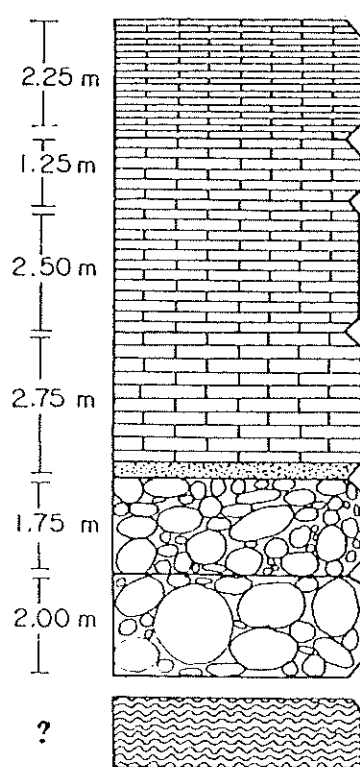
Flujo de lava andesítica

Figura 7. Columna estratigráfica de la Formación Rosario en el afloramiento correspondiente a Las Minas I (tomado de Lopez-Morteo, 1993).

En las Minas II la columna estratigráfica representa un proceso transgresivo, tipificado por una gradación de las partículas sedimentarias que van de las más gruesas, constituidas por roca andesítica, en la capa 1, hasta las más finas, de roca carbonatada, en la capa 6 {Figura 8, tomada de Lescinsky et al (1991)} se observa claramente este proceso.

En las capas 1 y 2 del conglomerado basal de Las Minas II, Lescinsky et al (1991) encontraron algunos briozooarios incrustantes en balvas de *Ostreas*, que de acuerdo a su investigación corresponden a las especies *Alderina inuber* y *Cheethamia howei*, ambas reconocidas en estratos que van del Campaniano al Mastrichiano (Shaw, 1967). En este conglomerado basal también es posible identificar algunos fragmentos de *Coralliochama orcutti*, bivalvo del Campaniano-Mastrichtiano, que previamente había sido descrito en la misma formación por Bárcenas (1988).

De acuerdo a Lescinsky et al (1991), en el Cretácico Superior la acción del oleaje de tormenta fue exhumando la capa de roca andesítica de la Formación Alisitos. Esta capa al quedar expuesta a la acción erosiva del oleaje de tormenta fue dando origen a un gran número de bloques y cantos rodados que dieron lugar al conglomerado basal de la Formación Rosario.



FORMACION ROSARIO, CRETACICO SUPERIOR

Caliza, naranja, graduada normal, arena carbonatada de granos finos a gruesos (2.5-0.0 ϕ), algunos clastos finos y fósiles transportados.

Arenisca carbonatada de grano muy grueso (0.0-0.5 ϕ).

Arenisca carbonatada de grano grueso (1.0-0.0 ϕ), algunos clastos finos de andesitas (0.8030 cm.) y fósiles transportados.

CAPA 3. Caliza de arenisca carbonatada de grano grueso (1.0-0.0 ϕ), algunos clastos finos y medios de andesito (mds concentrados en los primeros 20 cm.), valvas de ostras desarticuladas con la parte cóncava hacia abajo.

CAPA 2. Conglomerado de clastos medianos o grandes, clastos andesíticos (85%) con matriz de arena carbonatada de grano medio (2.2 ϕ) muy pobremente clasificada.

CAPA 1. Conglomerado masivo de clastos grandes, en matriz de arena carbonatada de grano medio (2.54 ϕ) muy pobremente clasificada, con fósiles indicadores de costa rocosa

FORMACION ALISITOS CRETACICO INFERIOR

Flujo de lava andesítica

Figura 8. Columna estratigráfica de la Formación Rosario en el afloramiento correspondiente a Las Minas II. Tomado de Lescinsky et al (1991).

Utilizando el índice de Dott (1974) se estima que se necesitaron olas de 6.0m de altura para mover los clastos de 1.2 m de diámetro del conglomerado basal del afloramiento de Las Minas II.

5. METODOLOGIA.

5.1 MODELO DE HUDSON.

Con el propósito de estimar la altura del oleaje en condiciones extremas para ambientes de playa modernos (San Miguel, B.C.) y antiguos (Las Minas, B.C.) se utilizó como base el modelo de Hudson (1959). Este modelo indica el peso de las rocas que deben utilizarse en la construcción de un rompeolas estable con una pendiente predeterminada de la estructura y cuando se conoce la altura de las olas más altas esperadas para un cierto período de tiempo (comúnmente de 50 ó 100 años).

Primero, el modelo se calibró en la costa rocosa de San Miguel estimando la altura del oleaje extremo y el tamaño de los clastos más grandes movidos por él. Posteriormente el modelo calibrado fue utilizado para estimar la altura del oleaje extremo en una costa antigua determinando el ángulo de inclinación del frente de playa y el tamaño, forma y densidad de los clastos.

El modelo de Hudson (1959) está dado por la expresión:

$$W = \frac{\delta_r H^3}{K_D(S_r-1)^3 \cot \alpha} \quad (1)$$

donde:

W = peso de las rocas

H = altura de la ola de diseño

K_d = coeficiente de estabilidad

δ_r = densidad de la roca

$S_r = \delta_r/\delta_w$ peso específico de la roca

δ_w = densidad del agua

Despejando H como variable independiente y expresando W en términos de volumen por densidad se obtiene una fórmula para estimar la altura mínima de ola requerida para mover una roca de diámetro D .

Los términos de la ecuación (1) pueden explicarse de la manera siguiente:

H es la altura de la ola significativa con un período de retorno de 50 ó 100 años.

K_d es el coeficiente de estabilidad, parámetro que depende de la forma predominante de las rocas utilizadas en la construcción del rompeolas, por ejemplo, redondeadas, cúbicas, angulosas con formas irregulares, etc. El valor del coeficiente de estabilidad también depende del grado esperado de daño que pueda ocurrir en un rompeolas ante la presencia de oleaje extremo. Los valores de K_d , obtenidos en base a trabajo experimental, están dados en tablas como las de Muir (1981) quien recomienda usar un coeficiente de estabilidad igual a 2.5 cuando el rompeolas es 100% estable o de 9 cuando el rompeolas puede alcanzar un daño próximo al 5%.

α es el ángulo de inclinación o pendiente del frente de la estructura en el rango de 10° a 30° (U.S. Army Corps of Engineering, 1984). Entre mayor sea el ángulo de inclinación del frente de la estructura, mayor deberá ser el peso de las rocas para que el rompeolas sea estable.

S_r es la gravedad específica de la roca a utilizar en la construcción del rompeolas y se obtiene de la razón entre la densidad de la roca δ_r y la densidad promedio del agua marina δ_w . Entre mayor sea el valor de S_r , menor deberá ser el tamaño de las rocas utilizadas necesarias para dar estabilidad al rompeolas.

Si el rompeolas se construye con rocas cuyo peso W es igual al calculado para un cierto valor de H_o , éste será estable cuando rompan sobre él olas cuya altura H sea menor o igual a H_o . El rompeolas será inestable cuando rompan sobre él olas cuya altura H sea mayor a H_o , en cuyo caso las rocas pueden ser movidas de su lugar.

Considerando $K_d = 9.0$ (Muir, 1982), $\delta_r = 2.7 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ (densidad de la roca basáltica vesicular), $\delta_w = 1.027 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$, y despejando H de la ecuación (1) tenemos:

$$H = 0.244 (W \cot \alpha)^{1/3} \quad (2)$$

La ecuación en función del diámetro de las rocas es:

$$W = V\delta_r = \frac{D^3 \pi \delta_r}{6} = 1414 D^3 \quad (3)$$

donde **D** es el diámetro de la roca expresado en metros y **V** es el volumen de la roca expresado en metros cúbicos.

Sustituyendo **W** en (2) tenemos:

$$H = 0.244 (1414D^3 \cot \alpha)^{1/3}$$
$$2.732D (\cot \alpha)^{1/3} \quad (4)$$

La ecuación (4) permite hacer estimaciones de la altura del oleaje capaz de poner en movimiento a los clastos de diámetro menor o igual a **D**, en una costa rocosa de roca basáltica vesicular con un frente de playa cuya pendiente promedio es α y cuando el coeficiente de estabilidad **K_p**, de acuerdo a lo propuesto por Muir (1982) para rocas redondeadas es igual a 9.

5.1.1 SUPOSICIONES DEL MODELO.

Para aplicar el modelo de Hudson (1959) en costas rocosas modernas y antiguas, es necesario hacer las suposiciones siguientes:

- a) El oleaje de tormenta, al incidir en la costa, rompe en el frente de playa.
- b) La pendiente del frente de playa en costas antiguas se ha preservado prácticamente sin cambios.
- c) El coeficiente de estabilidad no varía de una costa rocosa a otra.
- d) Existen clastos grandes que muestran evidencia de no haber sido movidas por el oleaje y que definen la máxima competencia del oleaje extremo.

5.2 CALIBRACION DEL MODELO.

Para demostrar que el modelo de Hudson (1959) en la forma dada por la ecuación (4) es aplicable a costas rocosas se procedió a calibrarlo en la costa de San Miguel determinando la pendiente promedio del frente de playa, el tipo y la densidad de la roca predominante. Estos parámetros junto con el

coeficiente de estabilidad recomendado por Muir (1982) permitieron determinar el modelo teórico que se comparó con la recta de regresión obtenida a partir de los datos de altura de oleaje extremo vs diámetro de los clastos movidos por él. Mediante la comparación de las gráficas obtenidas se calibró el modelo al modificar el coeficiente de estabilidad recomendado por el correspondiente al modelo de regresión.

Una vez calibrado el modelo de Hudson (1959) se aplicó en la costa rocosa de Las Minas para hacer las estimaciones del oleaje extremo en una costa rocosa antigua.

5.2.1 PENDIENTE DE PLAYA.

Para obtener el valor de la pendiente promedio del frente de playa en la localidad de San Miguel se levantaron, mediante el método de nivelación diferencial, dos perfiles de playa durante los meses de agosto y noviembre de 1992, y de enero y febrero de 1993. (Figura 9).

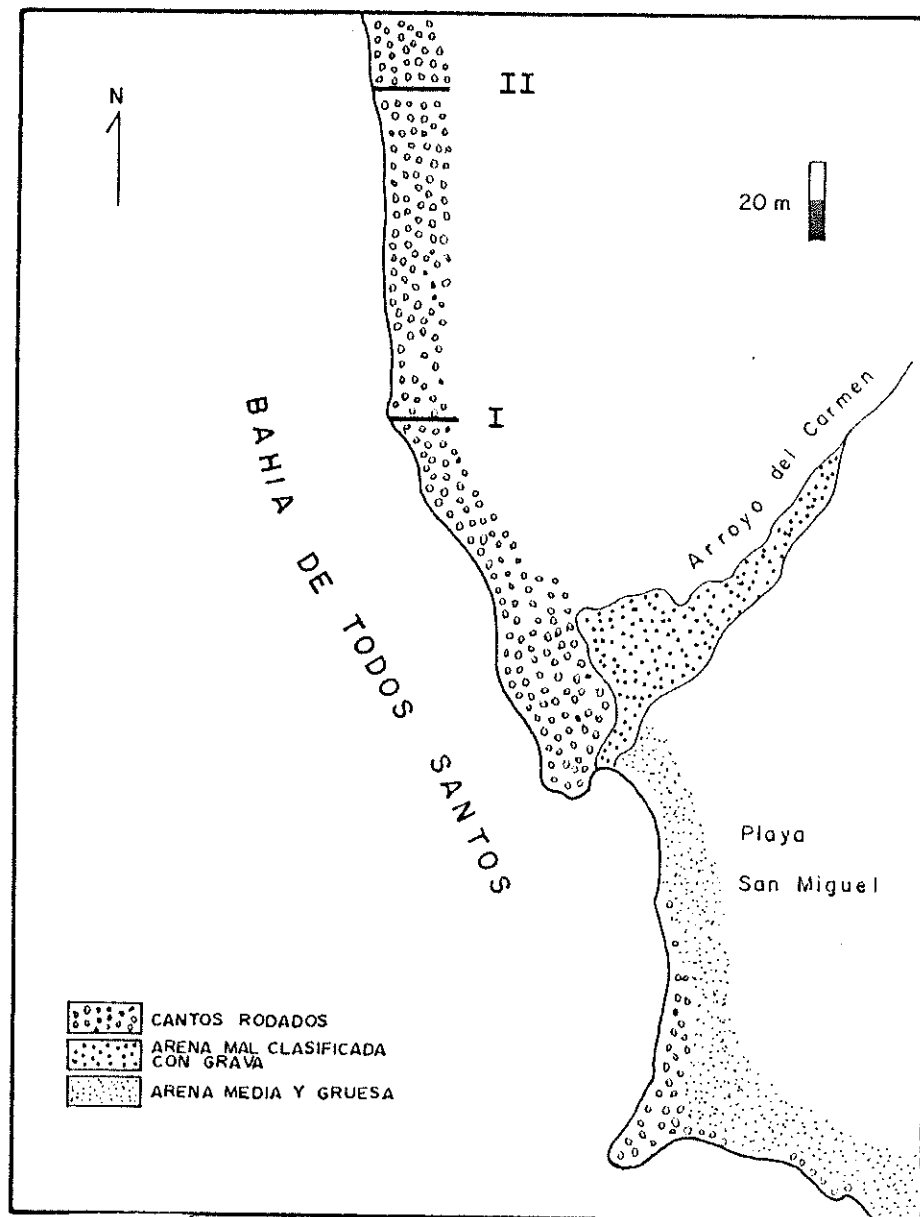


Figura 9. Ubicación de los transectos de playa que se usaron para determinar, mediante perfiles, la pendiente promedio del frente de playa.

5.2.2 TIPO Y DENSIDAD DE LA ROCA

Los clastos de la playa de San Miguel están formados por roca basáltica altamente vesicular proveniente de la Formación Rosarito Beach del Mioceno Medio, cuya densidad δ_r es de 2.7 g/cm³

5.2.3 RELACIÓN ENTRE ALTURA DE LAS OLAS Y TAMAÑO DE LOS CLASTOS MOVIDOS POR ELLAS.

Para encontrar la relación entre la altura máxima de las olas en la rompiente y el tamaño de los clastos movidos por ellas, se procedió de la manera siguiente.

Con el objetivo de verificar "in situ" la competencia del oleaje, es decir su capacidad para mover los clastos de mayor dimensión, se llevó a cabo una campaña de campo que abarcó el período comprendido entre noviembre de 1992 y febrero de 1993, correspondiente a la época promedio anual en la cual el oleaje es de mayor intensidad (Coria, 1991).

5.2.3.1 Tamaño de los clastos.

Durante la bajamar, en el área adyacente a los perfiles, se midieron y marcaron con resina epóxica teñida seis series de clastos, procurando abarcar los de mayor tamaño. (Tabla 2).

SERIE	000	100	300	400	500	600
NUMERO DE CLASTOS MARCADOS	63	52	72	68	55	80

Tabla 2. Número de clastos marcados en cada serie.

En los días subsiguientes al marcado de los clastos y durante las mareas bajas, se hicieron observaciones para evaluar cuales de los clastos fueron desplazados por el oleaje, para lo cual se siguió el criterio de considerar solamente aquellas partículas que mostraron evidencia de haber sido cambiadas de su posición original.

Como el diámetro nominal de una partícula sedimentaria exhibe una mayor correlación estadística con su velocidad de asentamiento que la correspondiente al diámetro medio (Friedman y Sanders, 1978), el tamaño de los clastos se expresó en términos de su diámetro nominal, para lo cual se midieron sus ejes largo **L**, medio **I** y corto **S**; el eje largo se multiplicó por el índice de

esfericidad de Folk (1974) obteniendo

$$\text{Diámetro Nominal} = D = L (S^2/LI)^{1/3}$$

El tamaño de los clastos que mostraron evidencia de haber sido movidos por el oleaje se reportó en términos de su diámetro nominal en tablas.

5.2.3.2 Altura de las olas.

Se hicieron estimaciones visuales de la altura máxima **H** del oleaje en la rompiente utilizando como referencia a los surfistas y al estadal bajo el procedimiento siguiente:

- 1) Se colocaron dos tránsitos, cada uno de ellos con un observador, separados una distancia de 50 m y sobre una línea aproximadamente paralela a la costa.
- 2) Ambos observadores visualizaron, del grupo de surfistas, al que se encontraba más hacia el extremo derecho cuando estaba sobre la línea de rompiente. A la señal del primer observador se midieron los ángulos formados entre la visual y la línea de playa.

- 3) Mediante triangulación se calculó la distancia entre el primer observador y la zona de rompientes. (Figura 10).
- 4) El estadal se colocó sobre la línea de playa a una distancia igual a la anterior. (Figura 11).
- 5) El primer observador con su brazo derecho extendido apuntando hacia la rompiente y, mediante el auxilio de un lápiz, trazó una visual que abarcaba desde la base del frente de la ola rompiente hasta la cresta de la misma, la base marcada por el dedo índice y la cresta marcada por el extremo superior del lápiz. (Figura 12).

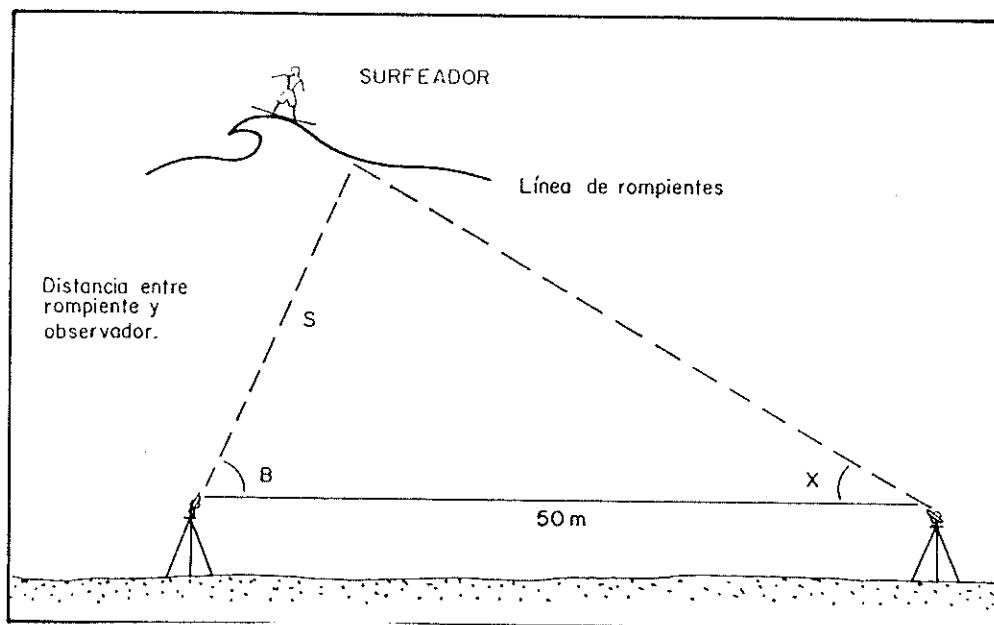


Figura 10. La distancia entre la rompiente y el observador se calculó por triangulación.

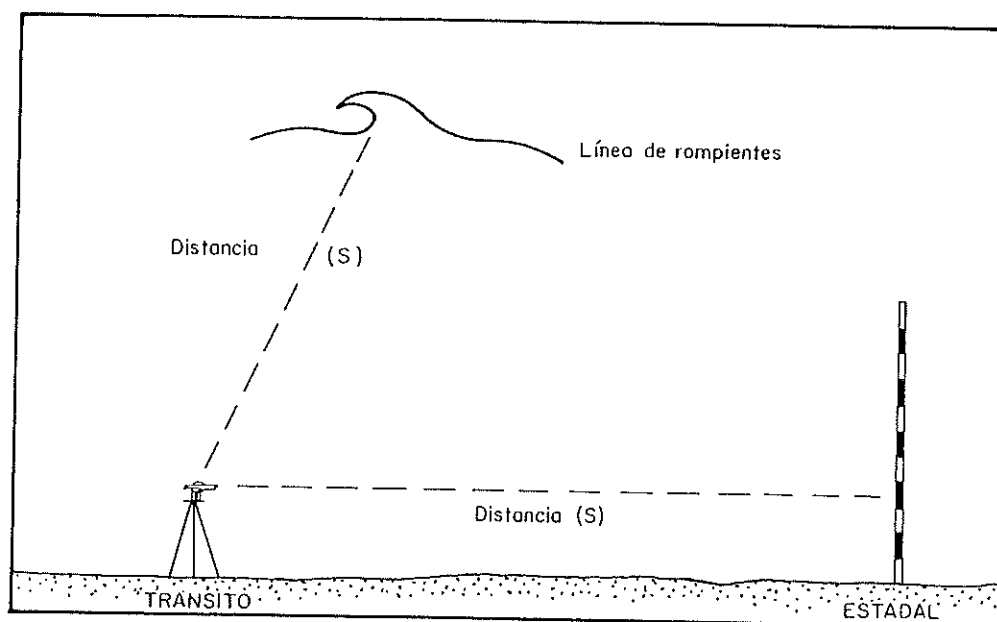


Figura 11. El estadal se colocó sobre la playa a una distancia igual a la que separaba al observador de la rompiente.

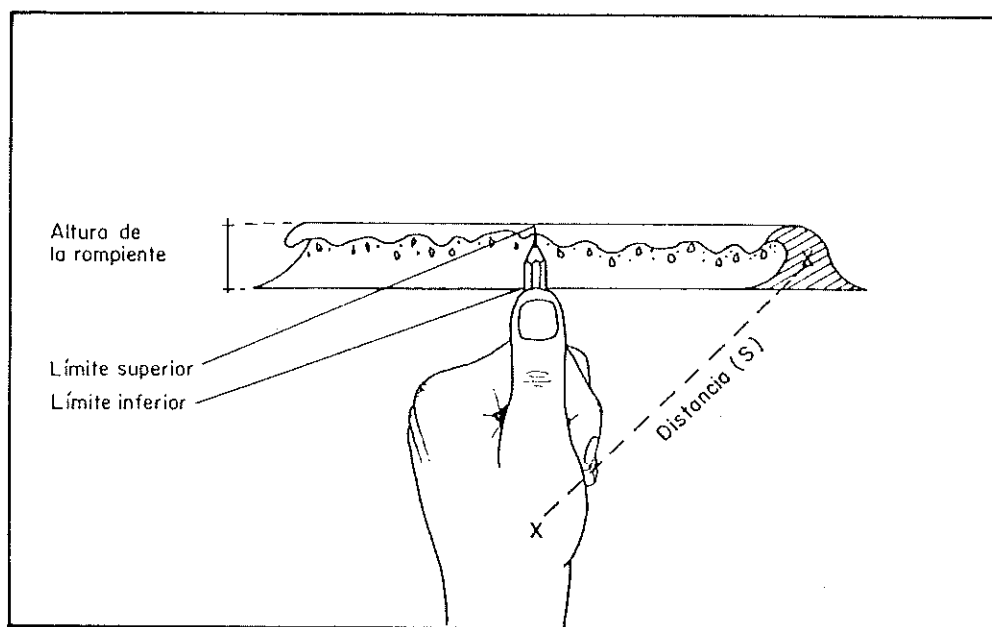


Figura 12. Mediante el auxilio de un lápiz se trazó una visual que abarcaba desde la base del frente e la ola rompiente hasta la cresta de la misma.

Después, el observador giró hasta alinear su brazo extendido con el estadal, para hacer coincidir la distancia relativa de la altura de la ola con la escala del estadal (Figura 13). Se consideró una precisión de 30 cm por lo que las alturas se midieron en pies, a la aproximación más cercana.

5.2.3.3 Relación entre altura de las olas y tamaño de los clastos movidos por ellas.

Con el objeto de establecer la relación matemática lineal entre las olas más altas y el tamaño de los clastos movidos se utilizó el método de cuadrados mínimos.

Se hicieron 2 análisis de regresión lineal:

- 1) Entre el diámetro nominal promedio D_m de todos los clastos que fueron movidos por el oleaje en cada medición, y
- 2) Entre el diámetro nominal del clasto más grande D_{01} que en cada medición fue movido por la acción del oleaje.

Los resultados encontrados se compararon al modelo teórico dado por la ecuación (4). Este procedimiento permitió verificar si el coeficiente de estabilidad igual a 9 era apropiado o no.

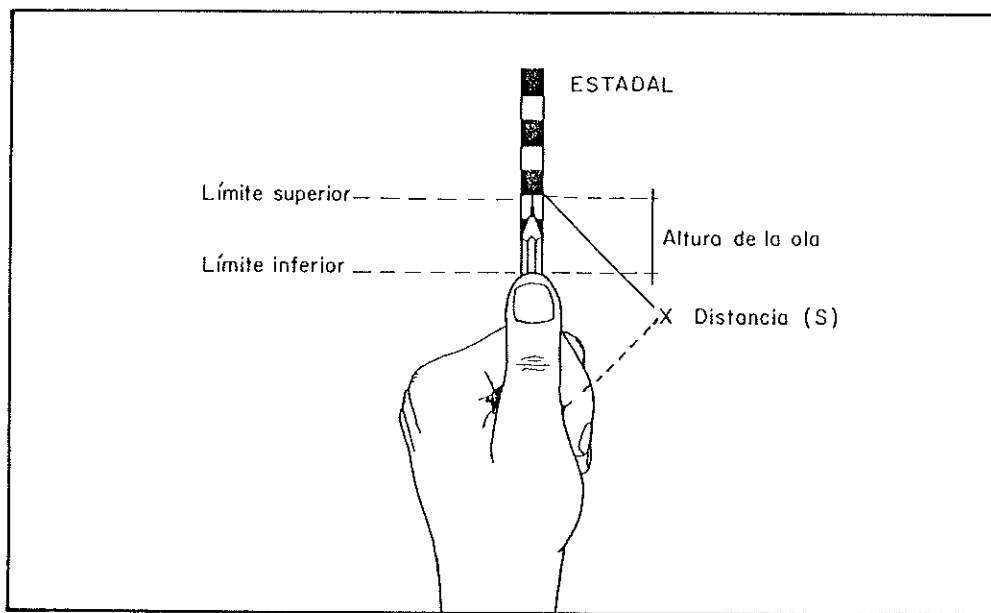


Figura 13. La altura de la ola se midió al hacer coincidir los límites visuales superior e inferior con la escala del estadal.

5.3. ESTIMACION DEL OLEAJE EXTREMO.

5.3.1 SAN MIGUEL.

Para obtener las alturas del oleaje extremo a partir del modelo calibrado, se hicieron mediciones de los clastos más grandes encontrados en el área comprendida entre Punta San Miguel y la Playa del mismo nombre, pero considerando sólo aquellos cuyo grado de redondez estaba dentro de las clases de partículas redondeadas y bien redondeadas (de acuerdo a las clases de estimación visual de Shepard y Young, 1961), y que mostraban evidencia de

haber sido movidos alguna vez (no dentro del período de medición), y suponiendo que las partículas angulosas (angular y muy angular) de mayor tamaño indican el límite superior de competencia del oleaje.

Los valores del diámetro de los clastos D_m y D_{01} se utilizaron para extrapolar el modelo y hacer las estimaciones de la altura del oleaje extremo.

5.3.2 LAS MINAS.

Para la estimación de las alturas extremas del oleaje que pudieron haber ocurrido en la localidad de Las Minas durante el Cretácico Superior se utilizaron los datos de pendiente de playa y tamaño de los clastos (redondeados y bien redondeados) más grandes observados en la columna estratigráfica. La pendiente de la playa correspondiente a los afloramientos de esta zona se obtuvo del promedio de las mediciones de los ángulos de inclinación que se hicieron, mediante el empleo de la brújula Brunton, sobre la colada de lavas de la Formación Alisitos, misma que define la discordancia angular en los afloramientos de Las Minas.

Para la obtención del diámetro nominal de los clastos en Las Minas, sólo se midieron los ejes largo **L** y corto **S**, debido al grado de consolidación del material en el afloramiento. El diámetro nominal se obtuvo al multiplicar el eje

largo por el índice de esfericidad de Riley (1941) que es igual a $(S/L)^{1/2}$.

6. RESULTADOS.

6.1. PLAYA DE SAN MIGUEL.

6.1.1 PENDIENTE DE PLAYA.

En la Figura 14 se muestran los perfiles de playa observados el 28 de agosto y 5 de noviembre de 1992, así como el 9 de enero y el 10 de febrero de 1993. Al analizar los perfiles de playa (Figuras 15 y 16) puede verse que la pendiente promedio del frente de playa es de 17° .

6.1.2 CARACTERISTICAS DE LOS CLASTOS MOVIDOS POR EL OLEAJE.

En el apéndice se dan una serie de tablas donde se muestran las características de los clastos que mostraron evidencia de haber sido movidos por el oleaje en el período comprendido entre el 10 de enero y el 18 de febrero de 1993 en la playa de San Miguel.

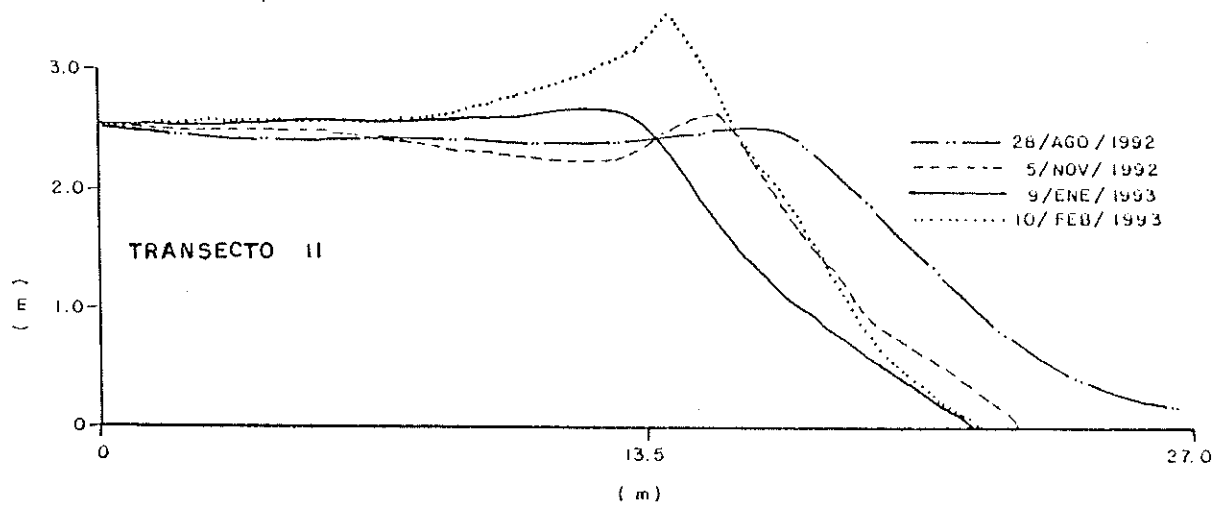
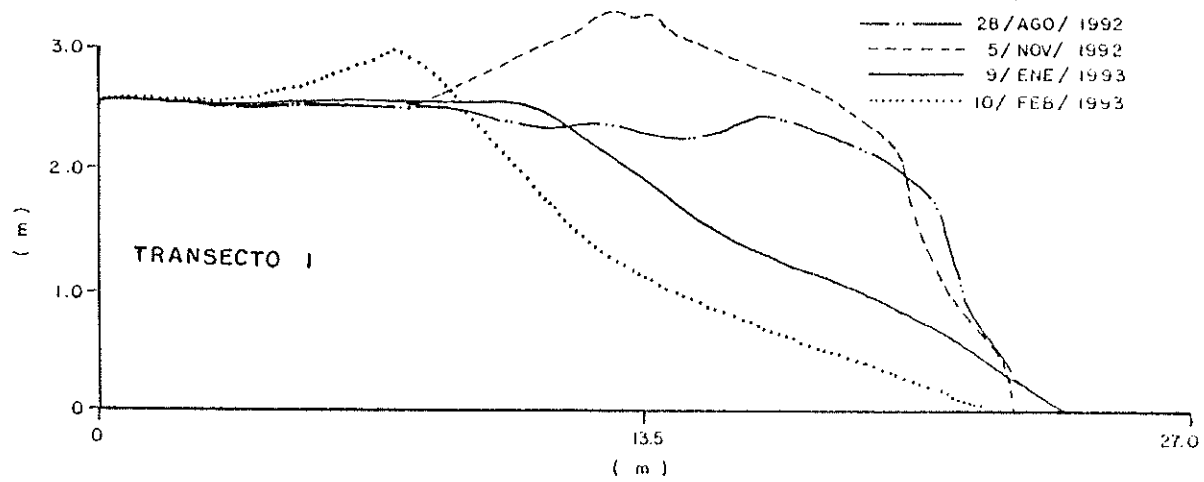


Figura 14. Perfiles de playa de la localidad de San Miguel, obtenidos el 28 de agosto y el 5 de noviembre de 1992, así como el 9 de enero y el 10 de febrero de 1993, que se usaron para determinar el ángulo promedio de inclinación (α) del frente de playa.

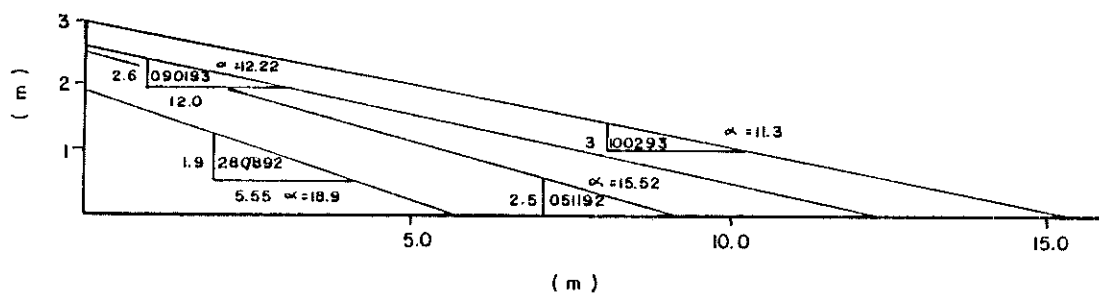


Figura 15. Pendientes del frente de playa para los perfiles del transecto I; se muestra la fecha de medición, así como los valores de las coordenadas y el ángulo tangente correspondiente al frente de playa; la inclinación promedio fue de 14.5° .

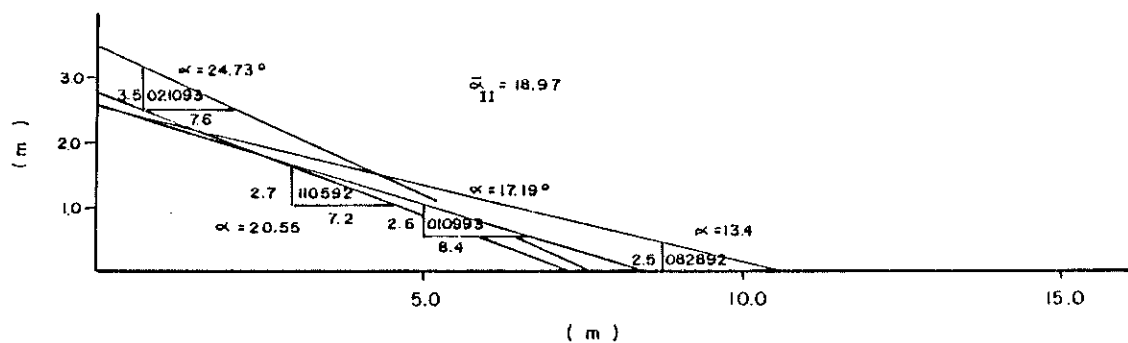


Figura 16. Pendientes del frente de playa para los perfiles del transecto II; se muestra la fecha de medición, así como los valores de las coordenadas y el ángulo tangente correspondiente al frente de playa; la inclinación promedio fue de 18.97° .

6.1.3 RELACION LINEAL ENTRE LA ALTURA DEL OLEAJE Y EL DIAMETRO DE LOS CLASTOS.

En la Tabla 3 se muestran los datos de altura de olas, diámetro nominal medio de los clastos D_m y diámetro nominal del clasto mayor D_{01} que se emplearon para hacer el análisis de regresión. En la Figura 17 se muestran las rectas ajustadas a los datos de altura del oleaje y diámetro nominal promedio D_m de los clastos más grandes movidos por el oleaje, altura del oleaje y diámetro nominal de los clastos más grandes D_{01} movidos por el oleaje, también se muestra la recta correspondiente al modelo de Hudson (1959) antes de su calibración.

En la Tabla 4 se muestra el diámetro nominal D , en cm, de los clastos redondeados más grandes encontrados en la playa de San Miguel.

En la Tabla 5 se muestran los valores de la altura del oleaje calculadas por medio de los modelos obtenidos a partir de las rectas de regresión y del modelo teórico propuesto para D_m y D_{01} de los clastos redondeados más grandes encontrados en la playa de San Miguel.

Tabla 3. Relación entre la máxima altura del oleaje, el diámetro nominal promedio de los clastos D_m y el diámetro nominal del clasto mayor D_{01} .

Altura de las olas en m H_m	Diámetro nominal medio de los clastos en m. D_m	Diámetro nominal clasto mayor D_{01}
1.8	0.39	0.57
1.8	0.53	0.60
3.0	0.53	0.77
3.0	0.55	0.72
3.0	0.57	0.75
2.4	0.47	0.70
2.4	0.49	0.60
2.4	0.43	0.62
1.5	0.34	0.46
3.3	0.58	0.79
1.8	0.30	0.60
2.4	0.39	0.62
2.4	0.39	0.59

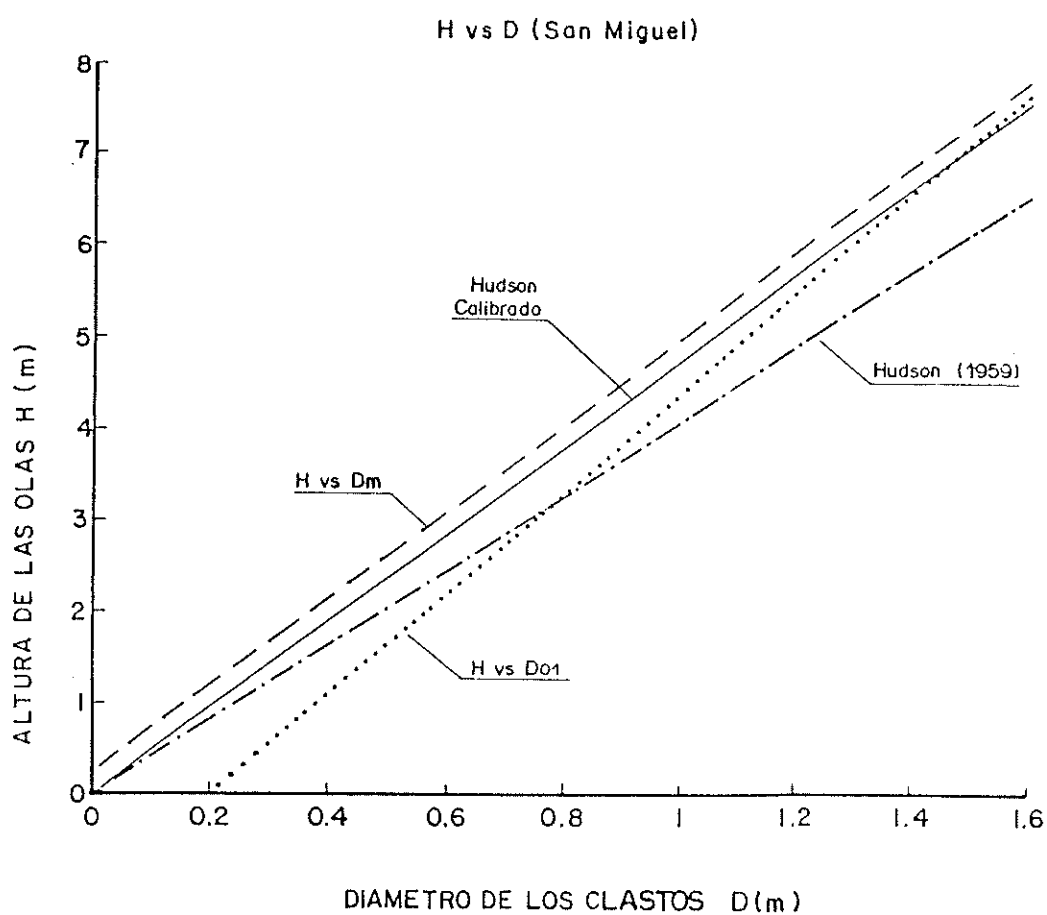


Figura 17. Rectas ajustadas a los datos de altura del oleaje y diámetro nominal promedio (D_m) de los clastos más grandes movidos por el oleaje, altura del oleaje y diámetro nominal de los clastos más grandes (D_{01}) movidos por el oleaje, también se muestra la recta correspondiente al modelo de Hudson (1959) antes de su calibración.

Tabla 4. Diámetro nominal (D), en cm de los clastos redondeados más grandes encontrados en la playa de San Miguel

90.4	80.1	81.4	131.0	117.0	92.0
101.8	113.4	78.5	113.2	92.0	87.0
89.0	76.3	104.0	72.3	65.0	74.0
70.2	78.6	58.0	142.3	110.0	
El diámetro promedio de los clastos más grandes, DMG_m = 92.0 cm					
La partícula redondeada más grande, DMG₀₁ = 142.0 cm					

Tabla 5. Valores de la altura del oleaje calculados por medio de los modelos obtenidos a partir de las rectas de regresión y del modelo teórico propuesto para D_m y D_{01} de los clastos redondeados más grandes encontrados en la playa de San Miguel.

MODELO	r	ALTURA DE LAS OLAS (m)	
		D_m (0.92)	D_{01} (1.42)
$H = 4.69 D_m + 0.25$	0.77	4.56	6.91
$H = 5.43 D_{01} - 1.10$	0.91	3.89	6.61
$H = 4.05 D^*$		3.73	5.75

* Modelo de Hudson (1959) con $\alpha = 17^\circ$ y $K_d = 9$.

6.1.4 CALIBRACION DEL MODELO DE HUDSON (1959)

Como puede observarse en la Figura 17, la recta correspondiente al modelo de Hudson ($H = 4.05D$ para $\alpha = 17^\circ$ y $K_d = 9$) pasa por el origen y los valores de su función se alejan de la recta de ajuste de los datos de altura del oleaje y diámetro nominal promedio D_m ($H = 4.69D_m + 0.25$). Tampoco lo hacen con los datos relativos a la altura del oleaje y diámetro nominal del clasto más grande D_{01} movido por el oleaje ($H = 5.43D_{01} - 1.10$).

Aun cuando el coeficiente de correlación (0.91) de la recta de ajuste de H vs D_{01} es superior al de la recta de ajuste H vs D_m (0.77), esta última pasa por un punto más cercano al origen aproximándose mejor al modelo de Hudson (1959). En base a esto se cambió el valor de su pendiente de 4.05 a 4.69. Esta modificación establece una diferencia de 25 cm entre los valores calculados por la recta de ajuste H vs D_m y el modelo calibrado de Hudson, mientras que si se utiliza la recta de ajuste H vs D_{01} , la diferencia será de 1.10 m. Por lo tanto, el modelo calibrado de Hudson se tomó como la ecuación $H = 4.69 D_{01}$ con un coeficiente de estabilidad equivalente a 14.0 y un ángulo de inclinación de 17° .

6.2 LAS MINAS.

6.2.1 PENDIENTE DE PLAYA.

La pendiente de playa correspondiente a los afloramientos de la zona de Las Minas se obtuvo por medición directa mediante el uso de la brújula Brunton. La pendiente promedio así obtenida fue de 17° con un margen de error de 2° .

6.2.2 DIMENSIONES DE LOS CLASTOS.

En las Tablas 6 y 7 se muestra el diámetro nominal de los clastos, en los conglomerados presentes en las capas 6 y 7 de la columna estratigráfica del afloramiento correspondiente a la localidad de Las Minas I; se incluyen el diámetro nominal promedio de los clastos más grandes DMG_m y el diámetro nominal del clasto más grande DMG_{01} .

En la Tabla 8 se muestra el diámetro nominal D en cm de los clastos del conglomerado basal de la columna estratigráfica correspondiente a la localidad de Las Minas II. También se incluye el diámetro nominal promedio de los clastos más grandes DMG_m y el diámetro nominal del clasto más grande DMG_{01} .

Tabla 6. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos de la localidad de Las Minas I, capa No 6, promedio de los diámetros nominales de los clastos más grandes (DMG_m) y diámetro nominal del clasto más grande (DMG_{01}).

3.7	2.5	5.7	10.0	7.9	3.2
6.5	11.3	5.3	4.6	3.0	3.4
2.6	3.6	2.0	2.1	10.5	1.8
8.0	2.6	3.6	2.6	9.0	8.9
4.2	16.5	3.2	2.6	3.0	2.0
2.1	2.8	1.3	4.5	2.6	2.6
2.0	2.8	4.0	2.0	5.2	
$DMG_m = 5.0 \text{ cm}$ $DMG_{01} = 17.0 \text{ cm}$					

Tabla 7. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos de la localidad de Las Minas I, capa No 7, promedio de los diámetros nominales de los clastos más grandes (DMG_m) y diámetro nominal del clasto más grande (DMG_{01}).

32.5	14.1	23.0	35.9	26.0	17.9
14.8	12.5	32.7	16.7	21.6	21.3
26.0	18.0	31.7	24.4	25.0	20.7
17.2	35.4	17.2	19.5	20.3	56.8
71.9	51.7	45.7	87.4	61.0	27.2
95.6	78.3	61.0	45.2	62.1	69.3
$DMG_m = 37.0 \text{ cm}$ $DMG_{01} = 96.0 \text{ cm}$					

Tabla 8. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos de la localidad de Las Minas II, conglomerado basal, promedio de los diámetros nominales de los clastos más grandes (DMG_m) y diámetro nominal del clasto más grande (DMG_{01}).

41.8	7.1	20.6	39.6	11.9	19.9
29.5	129.3	43.8	27.7	94.6	23.7
7.3	10.0	11.7	29.1	14.5	29.2
22.2	71.2	58.9	71.2	58.9	69.8
36.6	69.8	94.6	49.6	106.6	118.6
52.4	44.0	44.6	27.2	13.5	22.2
26.8	46.3	46.9	74.3	60.1	29.5
85.6	30.9	45.8	41.5	81.4	58.2
11.7	103.2	24.2	11.9	30.6	10.0
4.2	11.9	21.6	12.2	19.3	20.3
46.0	38.6	15.3	80.6		
$DMG_m = 42.0 \text{ cm} \quad DMG_{01} = 129.0 \text{ cm}$					

6.2.3 ALTURA DEL OLEAJE EXTREMO.

En la Tabla 9 se muestran, en base a los diámetros nominales D_{01} , las alturas estimadas del oleaje extremo mediante el modelo de Hudson (1959), considerando una roca andesítica, un coeficiente de estabilidad igual a 14.0 y la

pendiente del frente de playa, para la playa de San Miguel y el área de Las Minas.

Tabla 9. Estimación de la altura del oleaje extremo para diferentes valores del ángulo de inclinación del frente de playa (α), aplicando el modelo calibrado de Hudson (1959) en base a los diámetros nominales (D_{01}), para las localidades de San Miguel y Las Minas.

LOCALIDAD		PENDIENTE	ALTURA ESTIMADA DE LAS OLAS $H_{(m)}$	
			$DMG_{01}(m)$	$H(m)$
San Miguel		$\alpha = 17^0$	1.42	6.67 m
Las Minas I	Capa inferior	$\alpha = 15^0$	0.17	0.82 m
		$\alpha = 17^0$	0.17	0.80 m
		$\alpha = 19^0$	0.17	0.77 m
	Capa superior	$\alpha = 15^0$	0.96	4.70 m
		$\alpha = 17^0$	0.96	4.50 m
		$\alpha = 19^0$	0.96	4.33 m
Las Minas II		$\alpha = 15^0$	1.29	6.32 m
		$\alpha = 17^0$	1.29	6.05 m
		$\alpha = 19^0$	1.29	5.82 m

DMG_{01} Diámetro nominal del clasto más grande.

7. DISCUSION.

Cuando se utiliza el modelo de Hudson (1959) para estimar la altura de oleaje extremo en la costa rocosa de San Miguel para un coeficiente de estabilidad igual a 9, los valores calculados no concuerdan con los correspondientes valores de las rectas de ajuste, tanto de los datos de altura del oleaje y diámetro nominal promedio de los clastos más grandes movidos por el oleaje, como de los datos de altura del oleaje y diámetro nominal de los clastos más grandes movidos por el oleaje. Esta situación produce que las estimaciones de altura de oleaje extremo (mediante el modelo de Hudson para $K_d = 9$) sean inferiores a las obtenidas por la recta de ajuste de los datos de altura de oleaje y tamaño promedio de los clastos más grandes movidos por el oleaje; y superiores (en la parte baja) a la recta de ajuste de los datos de altura del oleaje y tamaño de los clastos más grandes movidos por el oleaje.

Aunado a lo anterior, si se toma en consideración cualquiera de las dos pendientes de las rectas de ajuste donde se puede ver que el coeficiente de estabilidad es superior a 9 (14 y 21.7 respectivamente) se hace necesario ajustar, modificando la pendiente, el modelo de Hudson (1959).

Considerando que la recta del modelo de Hudson (1959) parte del origen de coordenadas y que la recta de ajuste de los datos de altura del oleaje

y diámetro nominal promedio de los clastos más grandes movidos por el oleaje tiene un valor de intercepción con el eje de las ordenadas próximo al origen, se tomó esta última para calibrar el modelo de Hudson (1959).

La calibración se realizó al sustituir el valor de las variables $K_d = 14$, $\alpha = 17^\circ$, $\delta_r = 2.7 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$, $\delta_w = 1.027 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ en el modelo de Hudson (1959) lo que dio como resultado la función $H = 4.69 D$

El modelo calibrado de Hudson (1959) da una estimación de la altura del oleaje extremo menor en 0.25 m a la estimada a partir de la recta de ajuste de los datos de altura de las olas y diámetro nominal promedio de los clastos más grandes.

El coeficiente de estabilidad (14) de la costa rocosa de San Miguel indica que el daño esperado es superior al 5%.

Los 6.66 m de altura del oleaje extremo estimado a partir del modelo calibrado de Hudson (1959) están dentro de los valores esperados si se considera que Padilla (1989) registró una altura de ola significativa de 3.5m frente a las costas de Rosarito B.C. De acuerdo con el U.S. Army Corps of Engineering (1984), esto equivale a unos 5.8m aproximadamente para el 1% de las olas más altas ($H_1 = 1.66H_{1/3}$), Seymour (1989a) reporta olas de 6 m de

altura frente a la Bahía de Ensenada, y Pappas (1980) reporta olas de 4.5 m de altura en las costas de California para el mes de febrero de 1980.

La altura del oleaje extremo estimada por el modelo calibrado de Hudson (1959) para la playa de San Miguel teóricamente equivale a una altura significativa de 4.01 m ($H_{1/3} = H_1/1.66$) que es 0.04 m superior a la correspondiente altura de la ola de retorno de los cien años calculada por Coria (1991).

El poder conocer con certidumbre la pendiente del frente de playa en ambientes antiguos es de gran importancia, ya que este factor modifica drásticamente la competencia del oleaje, como puede claramente apreciarse en los resultados de la Tabla 22, donde para Las Minas II, se dan valores que varían desde 5.82 hasta 6.32m de altura del oleaje extremo para ángulos de pendiente que van desde 15° hasta 19°. Se ha considerado emplear el valor de 17° como un valor promedio de la pendiente observada en los afloramientos de Las Minas I y de Las Minas II bajo la suposición de que el ángulo de inclinación se ha mantenido sin variaciones.

Un factor muy importante que debe ser tomado en cuenta para el análisis consiste en saber si en una línea de costa rocosa antigua o contemporánea existen clastos que muestren evidencia de no haber sido

movidos por el oleaje (partículas angulares), lo que permitiría concluir que los clastos más grandes redondeados y bien redondeados (de acuerdo a las clases de estimación visual de Shepard y Young (1961)) indican el límite superior de competencia del oleaje en esa localidad.

Tanto en la costa rocosa de San Miguel como en la correspondiente a Las Minas II existen clastos angulares de mayor volumen a los que muestran evidencia de haber sido movidos por el oleaje extremo lo que mediante el modelo nos permite establecer, que el límite superior de competencia del oleaje es de 6.66 m y 6.05 m respectivamente.

Dado que en ambos conglomerados de Las Minas I no fue patente la presencia de clastos que indicaran el límite superior de competencia del oleaje, podemos concluir que la altura del oleaje estimada mediante el Modelo de Hudson (1959), para esta área no puede considerarse como oleaje extremo. Es decir que la altura del oleaje pudo o no haber sido mayor a la predicha por el modelo, pero al no haber una fuente de material que suministrara partículas lo suficientemente grandes para definir el límite de competencia, no fue posible evaluar con certidumbre la altura del oleaje extremo. Las características texturales así como la presencia de fósiles fragmentados en varias de las capas indican múltiples eventos de tormenta, pero en este caso no es posible hacer estimaciones del oleaje extremo, limitándonos exclusivamente a indicar que la

magnitud del oleaje en dicha localidad debió de ser probablemente superior a los valores estimados por el modelo.

8. CONCLUSIONES.

La recta de regresión que más se aproxima al modelo de Hudson (1959) corresponde a la que muestra la dependencia entre la altura máxima del oleaje y el diámetro nominal promedio de los clastos más grandes movidos por aquel. Los resultados obtenidos dieron una diferencia de 0.25 m entre los valores del oleaje extremo extrapolados por la recta de regresión y los calculados por el modelo calibrado de Hudson. Esta diferencia es del orden del 4% lo que podemos considerar dentro de límites aceptables.

La altura estimada del oleaje extremo, para la playa de San Miguel B.C., mediante el Modelo calibrado de Hudson, fue de 6.66m. la cual utilizando la distribución teórica de probabilidad de altura de las olas de CERC (1984), equivale a una altura significativa de 4.01 m, valor relativamente cercano a los 3.97m correspondientes a la altura significativa de la ola de retorno de los cien años calculada por Coria (1991).

En base a las observaciones anteriores podemos concluir que el modelo de Hudson (1959) puede ser utilizado para obtener estimaciones de

oleaje extremo en una costa rocosa a partir del análisis de sus clastos.

Para el caso concreto de la playa de San Miguel, se encontró un coeficiente de estabilidad igual a 14 que de acuerdo con Muir (1982) corresponde a un nivel de daño superior al 5%.

Para que el Modelo calibrado de Hudson (1959) de resultados confiables, es necesario contar con la presencia de clastos grandes que nos revelen la evidencia de no haber sido movidas por el oleaje, lo que nos permitirá definir el límite de la máxima competencia del oleaje en la localidad.

En relación al área correspondiente a Las Minas I, la altura del oleaje calculada por el Modelo de Hudson (1959) no puede considerarse como límite superior del oleaje extremo, debido a que no se encontraron clastos angulares que indicaran el límite de competencia del oleaje.

9. APENDICE.

CARACTERISTICAS DE LOS CLASTOS MOVIDOS POR EL OLEAJE.

En las Tablas I a XXII se dan las dimensiones en cm de los diámetros nominales D de los clastos que mostraron evidencia de haber sido movidos por el oleaje en el período comprendido entre el 10 de enero y el 18 de febrero de 1993 en la playa de San Miguel. Se incluyen los valores obtenidos de diámetro nominal promedio D_m , diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y en metros la altura máxima del oleaje observado H_m .

Tabla I. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 10 de enero en la serie 001, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

30.1	31.1	35.1	47.5	22.9	44.9
22.3	43.3	42.4	42.5	35.1	43.7
$D_m = 39.0$ cm		$D_{01} = 57.0$ cm		$H_m = 1.8$ m	

Tabla II. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 10 de enero en la serie 002, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

60.4	47.0	51.0	49.8	47.0	57.7
35.4	49.7	46.0	62.5	52.7	56.1
49.8	56.0	56.0	52.7	59.4	55.5
Dm = 53.0 cm D01 = 60.0 cm Hm = 1.8 m					

Tabla III. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 15 de enero en la serie 001, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

39.6	46.6	64.8	53.9	48.2	50.3	72.7
77.4	54.9	37.9	42.3	43.3		
Dm = 53.0 cm D01 = 77.0 cm Hm=3.0cm						

Tabla IV. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 15 de enero en la serie 002, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

65.4	63.7	71.6	61.8	55.9	54.5	49.0
42.2	48.3	65.9	46.7	40.2	56.6	48.4
57.7						
Dm = 55.0 cm D01 = 72.0 cm Hm = 3.0 m						

Tabla V. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 18 de enero en las series 001 y 002, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

57.8	58.0	57.8	60.0	50.7	45.8	62.6
58.0	44.6	75.1				
Dm = 57.0 cm d01 = 75.0 cm Hm = 3.0 m						

Tabla VI. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 20 de enero en la serie 003, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

38.0	51.2	36.8	70.1	37.5	47.1	52.4
63.8	32.8	27.3	53.9	54.4		
$D_m = 47.0 \text{ cm}$ $D_{01} = 70.0 \text{ cm}$ $H_m = 2.4 \text{ m}$						

Tabla VII. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 21 de enero en la serie 003, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

51.7	38.3	41.9	61.4	47.1	36.3	52.2
46.5	53.5	54.3	59.5			
$D_m = 49.0 \text{ cm}$ $D_{01} = 60.0 \text{ cm}$ $H_m = 2.4 \text{ m}$						

Tabla VIII. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 23 de enero en la serie 003, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

49.3	38.3	24.3	38.7	32.6	54.6	42.1
35.1	38.5	61.5	50.1	38.2	50.9	
$D_m = 43.0 \text{ cm}$ $D_{01} = 62.0 \text{ cm}$ $H_m = 2.4 \text{ m}$						

Tabla IX. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 24 de enero en la serie 004, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

22.3	43.3	22.9	37.3	25.1	23.9	34.0
40.3	40.7	45.9	42.5	39.8	41.6	40.2
20.8	22.2	34.5				
$D_m = 34.0 \text{ cm} \quad D_{01} = 46.0 \text{ cm} \quad H_m = 1.5 \text{ m}$						

Tabla X. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 6 de febrero en las series 003 y 004, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal de la partícula más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje (H_m).

41.9	74.2	54.1	70.2	55.2	63.8	55.5
52.6	55.2	61.0	57.7	48.6	40.7	48.3
42.8	42.6	48.7	74.1	71.1	78.7	71.5
$D_m = 58.0 \text{ cm} \quad D_{01} = 79.0 \text{ cm} \quad H_m = 3.3 \text{ m}$						

Tabla XI.

Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 11 de febrero en la serie 005, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje (H_m).

29.4	31.0	36.1	20.0	29.2	35.6	33.9
30.2	59.8	23.1	26.0	37.0	33.7	28.7
37.0	21.6					
$D_m = 30.0 \text{ cm}$ $D_{01} = 60.0 \text{ cm}$ $H_m = 1.8 \text{ m}$						

Tabla XII.

Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 18 de febrero en la serie 006, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro nominal del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje (H_m).

48.7	46.0	62.2	31.2	29.4	31.0	36.1
29.2	48.4	35.6	33.9	53.8	36.4	26.1
28.4	23.2	58.9				
$D_m = 39.0 \text{ cm}$ $D_{01} = 62.0 \text{ cm}$ $H_m = 2.4 \text{ m}$						

Tabla XIII. Diámetro nominal (D) en cm de los clastos recuperados el 19 de febrero en la serie 006, en el frente de playa de la localidad de San Miguel, promedio de los diámetros nominales de todos los clastos (D_m), diámetro del clasto más grande D_{01} , y altura máxima observada del oleaje en metros H_m .

48.7	58.9	56.2	52.0	43.3	37.1	19.8
29.0	24.8	24.5	25.4	34.4	22.2	31.0
38.1	48.7	20.0	58.9	55.2	49.4	
$D_m = 39.0 \text{ cm} \quad D_{01} = 59.0 \text{ cm} \quad H_m = 2.4 \text{ m}$						

10. BIBLIOGRAFIA.

Abbott et al, (1986). **SEPM Cretaceous Symposium Chairmen.** Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Aguero, M. G. (1986). **Características estructurales de la Bahía de Todos Santos y Areas Costeras Adyacentes.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.

Alvarez-Sánchez, L.G. (1971). **Medición de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos, B.C.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas UABC.

Allen, J.R.L. (1979). **A Model for the Interpretation of Wave Ripple-Marks Using Their Wavelength, Textural Composition and Shape.** J. Geol. Soc. London, 136: 673-682

Allison, E.C. (1974). **The Tipe Alisitos Formation (Cretaceous, Aptian-Albian) of Baja California and Its Bivalve Fauna.** A Guidebook to the Geology of Peninsular California. Pacific Sections of the American Association of Petroleum Geologists and Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Pags. 21-59.

- Bárcenas, P.M.L.A. (1988). **Paleontología y Paleoecología de la Formación Rosario (Campaniano-Maestrichtiano), Baja California, México.** Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Bascom, W. (1964). **Waves and Beaches.** Garden City, N.Y., Doubleday Anchorage, Pag. 267.
- Beal, C.H. (1948). **Reconnaissance of the Geology and the Oil Possibilities of Baja California, Mexico.** Geological Society of America, Memoir No. 31, Pag. 138.
- Bucher, W.H., (1919). **On Ripples and Related Sedimentary Surface Forms And Their Paleogeographic Interpretation.** Am. Jour. Sci., Vol. 46, Pags. 241-269.
- Cárdenas-Brachini, R. (1970). **Modelos en Oceanografía Física y su Aplicación.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas UABC.
- Carling, P.A. (1990). **Particle Over-passing on Depth-limited Gravel Bars.** Sedimentology 46, Pags. 312-324.

Carriquiry, B. J. (1985). **Análisis de la distribución de los minerales pesados presentes en los sedimentos clásticos de la Bahía de Todos Santos.**

Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas UABC.

CERC. (1984). **Shore Protection Manual.** Coastal Engineering Research Center, U.S. Corps of Engineering. Vol. No 2 Chap. III.

Clifton, F.G. (1976). **Wave - Formed Sedimentary Structures-A Conceptual Model.** SEPM, special Publication 24, Pags. 126-148.

Clifton, F.G. (1988). **Convulsive Geologic Events.** American U.S. Geological Survey, 345 Middlefield Road, Menlo Park, California 94025.

Contreras, F. (1985). **Las Lagunas Costeras Mexicanas.** Centro de Ecodesarrollo, Secretaria de Pesca, Altadena 8, México, 03810, D.F.

Coria, P. M. (1991). **Distribución de probabilidad de la altura significativa del oleaje y cálculo de períodos de retorno para el puerto de Ensenada, B. C., México.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.

- Cunningham, A.B. and Abbott, P.L. (1986). **Sedimentology and provenance of the upper cretaceous Rosario formation south of Ensenada, B.C. México.** Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section, Pags. 103-118.
- Dyer K.R. (1986). **Coastal and Estuarine Sediment Dynamics.** John Wiley and Sons. Ney York U.S.A.
- Dott, R.H., Jr. (1974). **Cambrian tropical storm waves in Wisconsin.** Geology, Vol. 2, Pags. 243-246.
- Dott, R.H., Jr. (1984). **Ancient storms in the geological record.** Geology, Vol. 4, Pags. 567-578.
- Friedman G.M. and Sanders J.E. (1978). **Principles of Sedimentology.** Jhon Wiley and Sons. New York U.S.A.
- Folk, R., (1974). **Petrology of Sedimentary Rocks.** Hempill Publishing Co. U.S.A.
- Gastil, R.G., Phillips, R.P. and Allison, E.C. (1975). Reconnaissance Geology of the State of Baja California. Geological Society of America, Memoir 140,

González, A. V. (1992). **Reevaluación de los estudios utilizados para el diseño del puerto de Ensenada, B. C.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas UABC.

Hammond, F.D.C. et al (1984). **A Comparison Between Shields Threshold Criterion and the Movement of Loosely Packed Gravel in a Tidal Channel.** Sedimentology 31, Pags. 51-62.

Hudson, R.Y. (1959). **Laboratory investigations of Rubble-mound breackwaters.** J. Am. Soc. Civ. Engrs., 85, WW3, Pags. 93-121.

Johnson, M.E. (1988b). **Hunting for ancient rocky shores.** Journal of Geological Education, Vol. 36, Pags. 147-154.

Komar, D. P. (1976). **Beach Processes and Sedimentation.** Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J.

Komar, D.P. and Miller M.C. (1973). **The Threshold of Sediment Under Oscillatory Water Waves.** Sedimentary Petrology, diciembre 1973.

- Kindle, E.M., (1917). **Recent and Fossil Ripple Mark.** Geol. Surv. Canada, Museum Bull. 25, Pags. 1-50.
- Ledesma-Vázquez, J. (1989). **Tempestites in upper cretaceous rocks at Peñasco La Lobera, B.C., México.** In Abbott, P.L., ed; Geologic Studies in Baja California: Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles, Pag. 133.
- Lescinsky, H.L., Ledesma-Vázquez, J. and Johnson, M.E. (1991). **Dynamics of late cretaceous rocky shores (Rosarito formation) from Baja California, México.** PALAIOS, Research Reports, Vol. 6, Pags. 126-141.
- Li, Z. and Komar, D.P. (1986). **Laboratory Measurements of Pivoting Angles for Applications to Selective Entrainment of Gravel in a Current.** Sedimentology Vol. 33, Pags. 413-423.
- López-Morteo, G.A. (1993). **Determinación de las Condiciones del Oleaje en las Líneas de Costa Rocosas Antiguas.** Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- Marine Advisers, Inc., 1993. **A Statistical Survey of Ocean Wave Characteristics in Southern California Waters.** Prepared for Army

Corps of Engrs., Los Angeles, Dist.

Martínez et al (1987). **Sistema de adquisición, clasificación y análisis de registros de oleaje.** Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. Reporte Técnico 87-03, Pag. 22.

Miller, M.C. and Komar, P.D. (1980). **Oscillation Sand Ripples Generated by Laboratory Apparatus.** Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 50, No. 1, Pags. 0173-0182.

Miller, M.C. and Komar, P.D. (1980a). **A field investigation of the relationship between oscilation ripple spacing and the near-bottom water orbital motions.** Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 50, No. 1, Pags. 0183-0191.

Muir, A.M. y Fleming, C.A. (1981). **Coastal Hidraulics.** Macmillan Press Ltd. London.

Nielsen, P. (1981). **Dynamics and Geometry of Wave-generated Ripples.** J. Geophys. Res., 86, Pags. 6467-6472.

Pappas, R.G. (1980). **Coastal Storms in Southern California.** Mariners
Weather Log. Vol. 24, No.4.

Plaza, J. F. (1979). **Cambios en la playa San Miguel debidos a un
deslizamiento y a la adición de nuevo material vertido a la línea de
Costa.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.

Riley, N. A. (1941). **Projection Esphericity.** Jour. Sedimentary Petrology, Vol.
11, Pag. 94-9.

Secretaría de Marina, (1974). **Estudio Geográfico de la Región de Ensenada
B.C.** Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo.
Mexico, D.F.

Seymour J. R. (1989a). **The Greath Storm of January 1988.** Journal of the
American Shore and Beach Preservation Association, Vol. 57, No. 4. Ed.,
Pag. 2.

Seymour J. R. (1989b). **Wave Observations in the Storm of 17-18 January,
1988.** Journal of the American Shore and Beach Preservation Association,
Vol. 57, No. 4. Ed, Pags. 10-13.

- Shaw, N.G. (1967). **Cheilostomata from Gulfian (Upper Cretaceous) Rocks of Southwestern Arkansas.** Journal of Paleontology, Vol. 41, Pags. 1393-1431.
- Shepard, F.P. y Young, R. (1961). **Distinguishing Between Beach and Dune Sands.** Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 24, Pags. 100-116.
- Silver, L.T., Stheli, F.G. and Allen , C.R. (1963). **Lower Cretaceous Prebatholithic Rocks of Northern Baja California, México.** American Association of Petroleum Geologist Bulletin, Vol. 47, Pags. 2054-2059.
- Southard, J.B., Lambie, J.M., Pile, H.T. and Weidman, C.R. (1990). **Experiments on Bed Configurations in Fine Sands Under Bidirectional Purely Oscillatory Flow, and the Origin of Hummocky Cross-stratification.** Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 60. No. 1.
- Swift, D.P., Figueiredo, A.G. Jr., Freeland, G.L. and Oertel, G.F. (1983). **Hummocky cross-stratification and megaripples.** A geological double standard? Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 53, No. 4, Pags. 1295-1317.

Ulloa-Torres M. J. (1989). **Refracción lineal del oleaje aplicada al Puerto de Ensenada**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas UABC.

U.S. Corps of Engineers and the Department of Boating and Waterways, (1993).
Coastal Data Information Program. Monthly Summary Report Nos. 204 y 205.

Villagrán, G. A. (1992). **Reevaluación de los estudios utilizados para el diseño del puerto de Ensenada, B.C.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas UABC.

