

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LA ALTURA
SIGNIFICANTE DEL OLEAJE Y CALCULO DE PERIODOS DE
RETORNO PARA EL PUERTO DE ENSENADA, B.C., MEXICO."

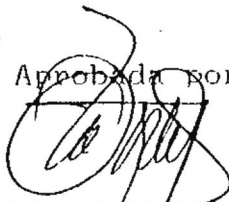
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA:
PABLO CORIA MENDEZ

ENSENADA, B.C., ABRIL DE 1991.

"DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LA ALTURA SIGNIFICANTE DEL
OLEAJE Y CALCULO DE PERIODOS DE RETORNO PARA EL PUERTO DE
ENSENADA, B.C., MEXICO."

T E S I S
QUE PRESENTA
PABLO CORIA MENDEZ

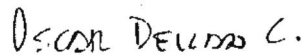
Aprobada por :



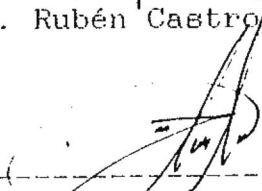
Presidente del Jurado
Oc. Asdrubal Martínez Díaz de León



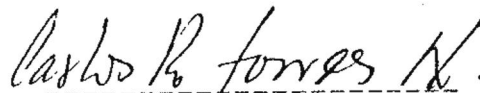
Sinodal Propietario
Oc. Rubén Castro Valdez



Sinodal Propietario
M.C. Oscar E. Delgado González



Sinodal Suplente
M.C. Luis F. Navarro Olache



Sinodal Suplente
M.C. Carlos R. Torres Navarrete

RESUMEN

Se obtienen las alturas significantes del oleaje medido durante agosto de 1986 a julio de 1989 dentro de la Bahía de Todos Santos, estas alturas muestran un comportamiento estacional, presentandose máximas en invierno y mínimas en verano.

Se ajustan tres funciones de distribución de probabilidad teóricas (Fisher-Tippett I, Weibull, Rayleigh) a la distribución de alturas significantes, para estimar los valores de estas a períodos de retorno de 50 y 100 años. En general la función de Fisher-Tippett I realiza un mejor ajuste en comparación con las otras.

Utilizando la función de Fisher-Tippett I se estiman valores de altura significativa a 50 años entre 1.85 a 3.70 m y de 1.94 a 3.97 m para 100 años.

DEDICATORIA

A mis padres :

Alonso Coria Alcalá por todas las enseñanzas y tiempos compartidos, saludos donde quiera que te encuentres.

Ma. de Jesús Mendez por su gracia de vivir dinámicamente y sin preocupaciones y de quien he aprendido bastante.

A mis hermanos :

Dras. Ma. de Jesús, Alma y Graciela, Lic. Lupita y al descabellado Rubén, por mostrarme el camino del estudio, por el amor y desamor compartidos en toda una vida juntos y por todo su apoyo económico.

A mi cuñado Jorge por su entrega total y amorosa en el desarrollo de su profesión, como un ejemplo a seguir.

A mis amigos Oceanólogos o no, Paco, Julio (niño), Gus, Rogelio, Yico, Maricela, Lorena, Leopoldo, Mirna, Lacho, Angel (de mi guarda), Lidice, Zacatecas y su Guerra loca, Ungua, Domingo, Gedardo, Carlos (el 3 veces), Titi, Charlie, Socio, Joe, Rocío, Reyes, Carlos Pak y Blanca, Claudia (Ruiz y Contreras), Neto, Payta, Chuyito, Arturo, los Nyul's y todos aquellos que en estos momentos nunca llegaron a mi mente.

A Laura con mucho cariño por ser una persona muy especial en mi vida y a quien quiero desmesuradamente.

A la Facultad de Ciencias Marinas por el abrigo brindado a todos sus alumnos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California por su ayuda económica otorgada por la beca-tesis a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas en especial a la sección de Oceanología Física por todo el apoyo otorgado para el desarrollo y realización de este trabajo.

A mi director Oc. Asdrubal Martínez Díaz de León por su entusiasmo, enseñanzas, críticas y su valiosa amistad.

A mis sinodales M.C. Oscar Delgado, M.C. Carlos Torres Navarrete, M.C. Luis Felipe Navarro Olache y Oc. Rubén Castro por darse el tiempo necesario de criticar, revisar y corregir acertadamente este trabajo.

A todos los maestros con quienes haya topado en las aulas y que de alguna manera ayudaron a formarme como profesionista en esta sociedad.

A mis compañeros de generación (XXVII) y (XXVIII) por todos los momentos malos y buenos que convivimos y que nos ayudaron a soportar y llegar a querer a esta ciudad tan extraña.

Indice

	pág.
Lista de Tablas	i
Lista de Figuras	ii
✓1 Introducción	1
2 Antecedentes	2
3 Objetivo	4
4 Descripción del área de estudio	4
5 Metodología	6
5.1 Análisis de la información	9
6 Teoría	11
6.1 Distribuciones teóricas	14
6.2 Cálculo de parámetros	16
6.3 Período de retorno	16
7 Resultados	18
8 Discusiones	34
9 Conclusiones	37
10 Bibliografía	38
APENDICE A	

Lista de Tablas

	pág.
Tabla I. Formato de presentación de las estadísticas de oleaje obtenido con el paquete de programación SACADO..	10
Tabla II. Total de registros analizados.	19
Tabla III. Factor de correlación en el ajuste de distribuciones de probabilidad de ocurrencia teóricas.	25
Tabla IV. Valores mínimos, máximos y modales de Hs (en metros) para cada estación del año y su porcentaje de ocurrencia.	26
Tabla V. Valores de los periodos de retorno de Hs (en metros) para 50 y 100 años, obtenidos a partir de las distribuciones de Fisher-Tippett I..	33

Lista de Figuras

		pág.
Fig. 1	Localización geográfica de la Bahía de Todos Santos y posición de la estación de medición de oleaje ROMPEOLAS1	5
Fig. 2	Batimetría de la Bahía de Todos Santos, Ulloa (1989).	7
Fig. 3	Detalles del anclaje del sensor de presión.	8
Fig. 4	Distribución de probabilidad de ocurrencia de Hs y su comparación con las funciones de distribución de probabilidad teóricas . . .	20
Fig. 5	Similar a la figura 4 para la estación de verano.	21
Fig. 6	Similar a la figura 4 para la estación de otoño.. . . .	22
Fig. 7	Similar a la figura 4 para la estación de invierno.. . . .	23
Fig. 8	Similar a la figura 4 para todos los datos.	24
Fig. 9	Probabilidad acumulativa de Hs utilizando la transformación de ejes de la función Fisher-Tippett I	28
Fig. 10	Similar a la figura 9 para la estación de verano	29
Fig. 11	Similar a la figura 9 para la estación de otoño.	30
Fig. 12	Similar a la figura 9 para la estación de invierno	31
Fig. 13	Similar a la figura 9 para todos los datos	32

1 INTRODUCCION

El auge en el uso de la zona costera durante los últimos años, para el desarrollo de actividades turísticas y comerciales, trae consigo un beneficio socio-económico importante para nuestro país. De tal forma que cualquier modificación que se haga en la línea de costa, debe realizarse en base al conocimiento del oleaje, por ser uno de los principales factores naturales, con los cuales interactúa.

Existen varios tipos de estructuras para la protección costera, tales como: rompeolas, espigones, escolleras, muros de protección, etc. que son diseñadas y construidas considerando los efectos del oleaje al que estarán expuestas. Esto requiere del análisis de información tomada por un número de años al menos similar al tiempo de vida deseado para la estructura (no menor de 50 años, Silvester, 1974), de tal forma que pueda ser determinada la altura de ola de los eventos de condiciones extremas. Sin embargo, en la mayoría de los casos difícilmente se cuenta con un año de datos.

Como respuesta a la necesidad de poder contar con mediciones locales de oleaje, el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (I.I.O.) de la U.A.B.C. inició desde 1986 el proyecto a largo plazo "Estadística de oleaje dentro de la Bahía de Todos Santos B.C.", el cual tiene como objetivo

principal medir oleaje el mayor número de años posible.

[Una medida estadística de la rugosidad de la superficie del mar puede ser obtenida mediante el cálculo de la altura significativa (H_s), ordenando de mayor a menor las alturas de olas dentro de una medición (registro), y promediando la tercera parte del total que incluya los valores más grandes.

En este trabajo se obtienen las H_s para tres años de información de oleaje (Septiembre de 1986 a Agosto de 1989), medida en una estación dentro de la Bahía de Todos Santos, B.C. (BTS), y se ajustan las funciones de distribución de probabilidad teóricas (FDPT) de Fisher-Tippett I (FT-I), Weibull y Rayleigh a las distribuciones de probabilidad de las H_s . Finalmente la función que mejor se ajuste es utilizada para obtener la H_s más grande probable para 50 y 100 años.

2 ANTECEDENTES

Con el propósito de proporcionar información adecuada para el diseño de estructuras costeras y oceánicas, se han elaborado una serie de trabajos e investigaciones tendientes a caracterizar en forma teórica la distribución de probabilidad de la altura y el período del oleaje, dentro de los cuales podemos mencionar los siguientes:

Dattatri (et. al. 1979), presentan los resultados del análisis de datos de oleaje obtenidos en el puerto Mangalore

en la India y recomiendan la distribución de Rayleigh para caracterizar la distribución de alturas de olas cuyo espectro de frecuencia sea de banda angosta.

Shahul y Baba (1985), examinan la distribución de probabilidad de alturas de oleaje en aguas someras a partir de registros de presión de una zona cercana a Alleppey, India, utilizando 5 diferentes distribuciones de probabilidad teóricas: a) Rayleigh, b) Weibull, c) Gluhovski, d) Ibrageemov y e) Goda durante un período de monzón. Concluyen que para aguas profundas la distribución de Rayleigh estima la distribución de alturas, mientras que en aguas someras esto sucede con la distribución de Gluhovski.

En la BTS, de los trabajos encaminados a caracterizar el tipo de oleaje que arriba a sus costas, destacan los siguientes; González y Sánchez (1985), extrapolan alturas y períodos del oleaje registrado en las estaciones de la Fleet Numerical Weather Center (FNWC) y del Coastal Data Information Program (CDIP), para conocer la distribución de probabilidad de ocurrencia conjunta de alturas y períodos frente al rompeolas del puerto de la ciudad de Ensenada, B.C. Estos autores encuentran marcadas diferencias entre el oleaje de ambas estaciones, además de que en el análisis no cubren eventos extremos de tormenta, los cuales proponen que deberían ser incluidos.

Miranda (1985), utilizó una distribución de probabilidad teórica propuesta por Teh-Fu y Feng-Shi (1980), para simular el oleaje de condiciones extremas frente al rompeolas del puerto de Ensenada, haciendo uso de la información de la FNWC y de las predicciones de faxcímile para una estación fuera de la BTS por la Meteorology International Inc.

3 OBJETIVO

Determinar la distribución de probabilidad de las Hs del oleaje medido de Agosto de 1986 a Julio de 1989 dentro de la BTS, utilizando las FDPT de FT-I, Weibull y Rayleigh. Con la que mejor se ajuste en el sentido de mínimos cuadrados, se calculará la Hs más grande probable en periodos de 50 y 100 años.

4 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos se encuentra localizada en la costa occidental de la Península de Baja California, entre las latitudes $31^{\circ} 41' N$ y $31^{\circ} 56' N$ y las longitudes $116^{\circ} 34' W$ y $116^{\circ} 51' W$ (Fig. 1). Los límites naturales que le dan una forma trapezoidal son: al norte Punta San Miguel y al sur las Islas Todos Santos y Punta Banda. La configuración batimétrica de la Bahía es irregular (Fig. 2), cuyos razgos

sobresalientes son: El bajo de San Miguel, con una profundidad promedio de 5.5 m y ubicado entre la Punta San Miguel y las Islas Todos Santos. Un cañón submarino entre Punta Banda y las Islas con una profundidad máxima de 550 m. La información analizada en este trabajo fue tomada en la estación de registro denominada ROMPEOLAS1, localizada frente al rompeolas que protege al puerto de la ciudad de Ensenada (Fig. 1), con una profundidad promedio de 10 m. Las olas que inciden en esta zona provienen principalmente del noroeste (Ulloa, 1989).

5 METODOLOGIA

Para la obtención de los registros de oleaje [se utilizó un medidor de presión del tipo 635-08 de la Compañía Sea-Data, el cual registra la variación de presión inducida por las fluctuaciones de la superficie del agua debidas al oleaje.] El aparato se ancló en una estructura de aluminio anonizada en forma de prisma sobre el fondo como se muestra en la figura 3 (para mayores detalles del anclaje ver Martínez y Nava 1987), y estuvo programado para grabar 2048 datos cada 6 horas y un intervalo de tiempo entre dato y dato de 0.5 segundos. La información es grabada y almacenada internamente en el aparato en una cinta magnética digital, para

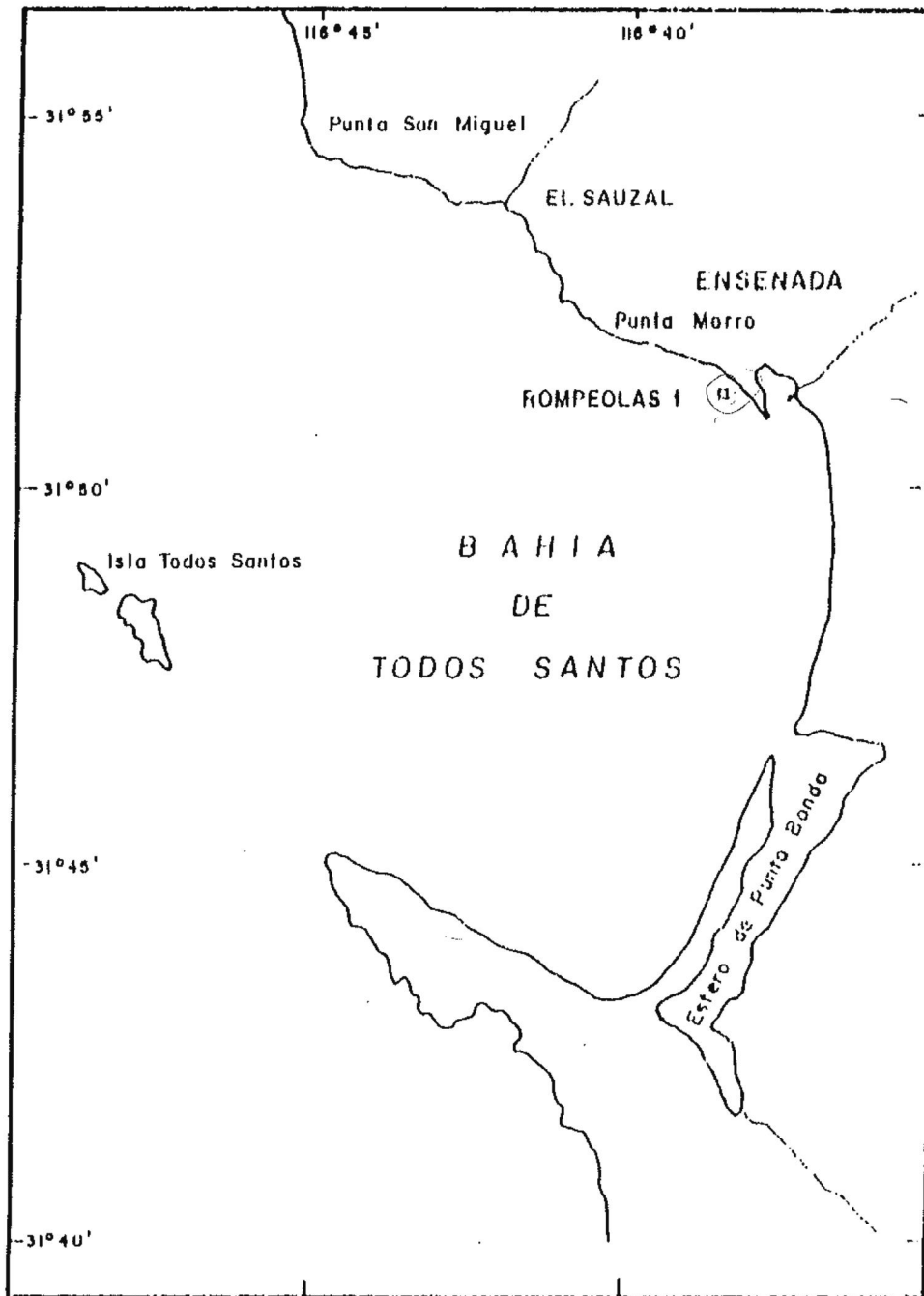


Figura 1. Localización geográfica de la Bahía de Todos Santos y posición de la estación de medición de oleaje ROMPEOLAS I.

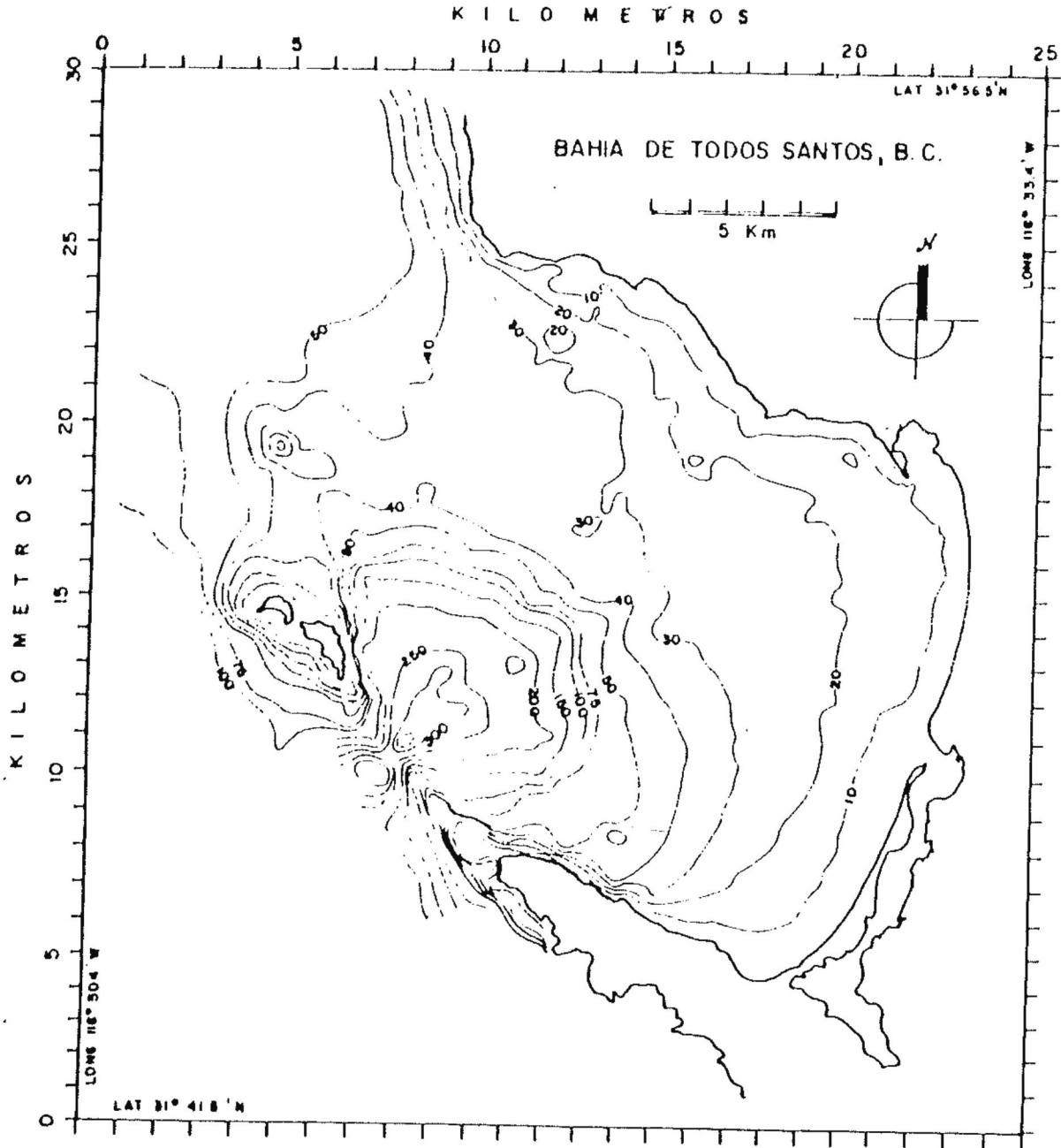


Figura 2. Batimetría de la Bahía de Todos Santos, Olla (1989).

después ser transferida al disco fijo de una computadora personal en el laboratorio de Oceanografía Física del I.I.O., por medio de una lectora Sea-Data modelo 12-B.

5.1 ANALISIS DE LA INFORMACION

Una vez que la información se encuentra almacenada en la computadora, se divide en archivos de 2048 datos cada uno, los que se identifican asignándoles un nombre que incluye fecha, año, hora de inicio del registro y la estación donde se realizó la grabación. Posteriormente cada archivo se transforma del sistema hexadecimal al c.g.s. y se pasa de unidades de presión a elevación. Todos los archivos generados son posteriormente analizados utilizando el paquete de programación SACADO (Sistema de Adquisición, Clasificación y Análisis de Datos de Oleaje) de Martínez y Nava (1987), el cual determina la calidad de grabación de cada archivo, además de calcular sus principales parámetros estadísticos. Una salida típica del SACADO se ejemplifica en la (Tabla I), cuya nomenclatura se describe en el apéndice A.

Como se puede ver, la información estadística que se obtuvo de cada archivo es bastante completa. Para este trabajo solo se utilizaron los valores de Hs; la información restante forma parte de un banco de datos estadísticos del I.I.O., y algunos resultados preliminares de su análisis

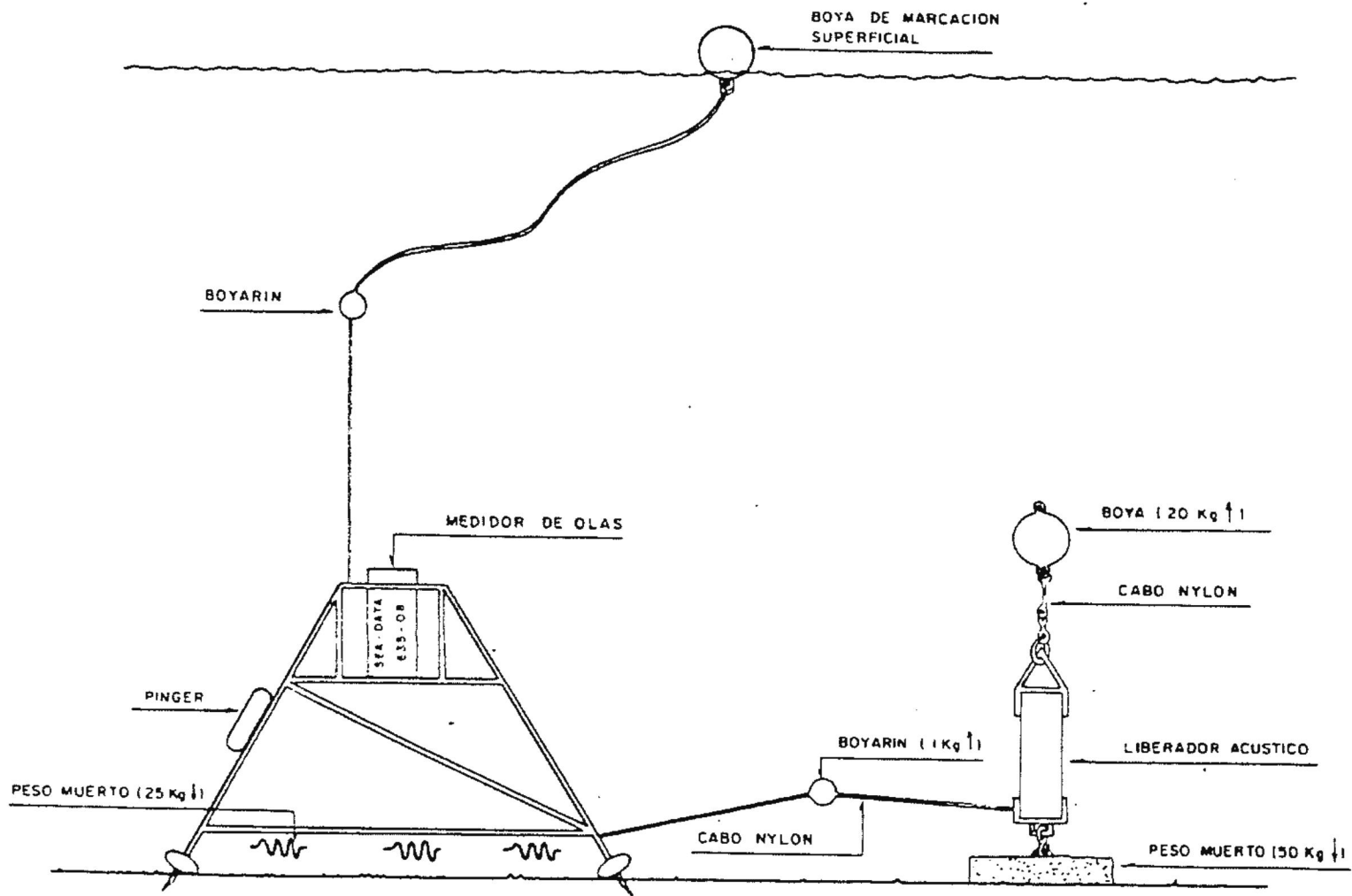


Figura 3. Detalles del anclaje del sensor de presión.

pueden encontrarse en Martínez (et. al., 1988).

Para lograr una mejor caracterización de los valores de Hs mediante las diferentes FDPT utilizadas en este trabajo, la información fué dividida por estación del año, estas se definieron como se muestra en la Tabla II, donde se indica también el número de registros utilizados en cada una de ellas.

6 TEORIA

Una práctica común en la obtención rutinaria de información de oleaje es la de medir la variación del perfil de la superficie del mar por periodos de 15 a 20 minutos cada 3, 6 u 8 horas. Para cada intervalo entre 3 y 8 horas se supone que la superficie del mar es estacionaria y sigue una distribución de probabilidad de elevaciones Gausiana (Longuet-Higgins, 1952).

A diferencia de la variación de las elevaciones de la superficie del mar, el comportamiento de Hs para periodos de tiempo de días, meses o años no puede ser considerada como estacionaria, ni se ajusta necesariamente a una distribución de probabilidad Gausiana (Carter, et. al. 1986). Por lo que para poder representar las distribución probabilística de Hs, se vuelve necesario el ajuste de otro

Tabla I. Formato de presentación de las estadísticas de oleaje obtenido con el paquete de programación SACADO.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
U.A.B.C.

ESTADÍSTICA DE OLAJE

ESTACION : ROMPEOLAS1 REVISION : 1
FECHA : 1987 10 06 HORA : 21:00 NUM. DE DATOS : 2048
APARATO : SEA-DATA 6350803 PROF: 10.93 M INT. DE MUESTREO: 0.5 s

DOM.TIEMPO	MITAD	P2	P3	P4	>P4	ERR	CON	CORR	N(MAX)	HPRM	HS	H10	HRMS	VARZA	TZ	ASIME	KURTO
PARAMETROS	1	25	0	0	0	0	0	.001	.696	.352	.569	.659	.399	.024	9.521	.106	2.693
	2	11	2	0	0	0	0	.000	1.232	.530	.817	1.022	.589	.044	12.108	.040	2.554

DOM.FREC	MITAD	HMO	TP	TH01	TH02	TH24	E	QP
PARAMETROS	1	.6225	16.0000	11.4401	9.9486	6.0161	.7964	2.3774
	2	.8280	16.0000	12.1574	10.6548	6.3030	.8063	4.4235

ESPECTRO	NU	FRECUENCIA (HZ)	PERIODO (S)	DENSIDAD ESPECTRAL (M ² M/HZ)			DENSIDAD ESPECTRAL (% DEL 1.779) <i>previsto</i>					
				MITAD 1	MITAD 2	MEDIA	0	20	40	60	80	100
	1	.008	128.000	.0083	.0011	.0047						
	2	.016	64.000	.0202	.0144	.0173						
	3	.023	42.667	.0225	.0102	.0163						
	4	.031	32.000	.0133	.0196	.0164						
	5	.039	25.600	.0396	.0605	.0500	*					
	6	.047	21.333	.1757	.2080	.1918	*****					
	7	.055	18.286	.2132	.4112	.3122	*****					
	8	.063	16.000	.8127	2.7450	1.7789	*****					
	9	.070	14.222	.5822	.3628	.4725	*****					
	10	.078	12.800	.4130	.3919	.4025	*****					
	11	.086	11.636	.0827	.1989	.1408	***					
	12	.094	10.667	.0968	.1355	.1161	***					
	13	.102	9.846	.0439	.1027	.0733	**					
	14	.109	9.143	.0681	.0478	.0579	*					
	15	.117	8.533	.0202	.0552	.0377	*					
	16	.125	8.000	.0390	.0620	.0505	*					
	17	.133	7.529	.0160	.0424	.0292						
	18	.141	7.111	.0246	.0431	.0348						
	19	.148	6.737	.0139	.0301	.0220						
	20	.156	6.400	.0194	.0100	.0147						
	21	.164	6.095	.0179	.0200	.0189						
	22	.172	5.818	.0151	.0105	.0128						
	23	.180	5.565	.0095	.0230	.0163						
	24	.188	5.333	.0276	.0143	.0210						
	25	.195	5.120	.0235	.0770	.0502	*					
	26	.203	4.923	.0509	.1223	.0866	**					
	27	.211	4.741	.1015	.0962	.0989	**					
	28	.219	4.571	.0278	.0543	.0410	*					
	29	.227	4.414	.0461	.0438	.0449	*					
	30	.234	4.267	.0414	.0507	.0461	*					
	31	.242	4.129	.0127	.0167	.0147						
	32	.250	4.000	.0006	.0009	.0007						

tipo de modelos, tales como: las distribuciones de probabilidad teóricas de Rayleigh, Weibull, Gamma, Log-Normal, etc. (Carter, et. al. 1986), donde la mejor distribución se puede elegir en base al grado de correlación obtenida con los datos.

Supongamos cualquier función de distribución de probabilidad acumulativa dada por $F(x)$, esto es:

$$F(x) = p(X < x)$$

donde X es la variable aleatoria en cuestión y x es una cota superior arbitraria en la distribución.

Para el caso particular de este trabajo la variable aleatoria en cuestión es H_s , la cual toma valores positivos, de aquí que:

$$F(0) = 0 \quad \text{y} \quad F(\infty) = 1$$

La función de densidad de probabilidad $f(x)$, se obtiene mediante la derivada de la función de distribución de probabilidad, es decir:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

y

$$F(x) = \int_0^{\infty} f(x) dx = 1$$

densidad de probabilidad.

En general cualquier $\hat{F}DPT$ contiene parámetros desconocidos que deben ser determinados una vez que esta ha sido seleccionada. Uno de los métodos comunes para obtener estos parámetros es el que hace uso de papel probabilidad, el cual tiene ejes no lineales que corresponden al tipo de función que se está manejando, de tal forma que si los datos se ajustan a la distribución, deben caer sobre una línea recta al ser graficados en este papel.

Si suponemos cualquier FDPT dada por $F(x)$, los ejes del papel probabilidad pueden obtenerse de la siguiente forma: Si p es la probabilidad de que $X < x$, donde x es la variable aleatoria en cuestión, entonces de la función de distribución de probabilidad tenemos que

$$F(x) = p$$

o

$$x = F^{-1}(p)$$

Con la mayoría de las distribuciones es posible reordenar esto de tal forma para obtener una ecuación del tipo

$$h(x) = a + b g(p)$$

donde a y b son funciones de parámetros desconocidos y $g(p)$ y $h(x)$ son funciones que no involucran a estos parámetros.

Si $h(x)$ se grafica contra $g(p)$, se obtiene una línea recta, de donde a y b resultan de su ordenada al origen y su pendiente respectivamente. Esta transformación se ilustra más adelante con la distribución de Fisher-Tippett I.

Por lo anterior, podemos decir que el proceso de ajuste tiene dos fases: la identificación del tipo de función de distribución teórica adecuada y el cálculo de los parámetros que la determinan, mediante el ajuste de la recta que mejor represente los datos.

6.1 Distribuciones teóricas

Para identificar la FDPT adecuada, primero es necesario obtener los histogramas de frecuencia de ocurrencia relativa de H_s , lo cual nos permite determinar la magnitud de las asimetrías con respecto a la distribución normal (si existen) y la forma general del histograma, la cual es comparada con las diferentes funciones previamente seleccionadas para intentar el ajuste.

En este trabajo se ajustaron las siguientes tres funciones de distribución de probabilidad teóricas a los valores de H_s (3500 valores aproximadamente) :

i) Distribución de Fisher-Tippett I

$$F(H_s) = \exp \{-\exp[-(H_s - \alpha)/\beta]\}$$

donde se requiere hacer la siguiente transformación para obtener los ejes del papel probabilidad:

$$p = \exp(-\exp(-(H_s - \alpha)/\beta))$$

$$(H_s - \alpha)/\beta = -\ln(-\ln(p))$$

$$H_s = \alpha - \beta \cdot \ln(-\ln(p))$$

de aquí que los ejes queden dados por:

$$y = -\ln(-\ln(p))$$

$$x = H_s$$

ii) Distribución de Weibull

$$F(H_s) = 1 - \exp[-(H_s/\alpha)^\beta]$$

donde los ejes están dados por:

$$y = \ln(-\ln(1-p))$$

$$x = \ln(H_s)$$

iii) Distribución de Rayleigh

$$F(H_s) = 1 - \exp(-H_s^2/2\alpha^2)$$

donde los ejes están dados por:

$$y = \ln(-\ln(1-p))$$

$$x = \ln(H_s)$$

6.2 Cálculo de parámetros

Para obtener el valor de los parámetros que determinan la función de distribución, se utiliza el método de "mínimos cuadrados"; el cual consiste en ajustar la distribución de probabilidad empírica a una línea recta $y=ax+b$, de tal forma que se haga mínima la expresión:

$$Z = \sum_{i=1}^n \{P(x_i) - F(x_i)\}^2$$

donde:

$F(x_i)$ es la función de la distribución en estudio, valuada en x_i

$P(x_i)$ es la probabilidad "observada" de la muestra.

Mediante este método se obtiene también un criterio cuantitativo, para definir cual de las FDPT se ajusta mejor a los datos.

6.3 Períodos de retorno

El principal objetivo del ajuste de FDPT, es el poder estimar el valor más grande probable de H_s para periodos de 50 y 100 años, comunmente llamado "periodo de retorno H_{50} y H_{100} respectivamente". La forma común de obtener está estimación es extrapolando el ajuste logrado con la FDPT, hasta la probabilidad que corresponda a estos valores,

(Draper, 1976).

Una vez que se determina la FDPT que mejor representa los datos, la probabilidad de ocurrencia de Hs para un determinado período de retorno de N número de años, puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$F(H_N) = 1 - 1/N \cdot n_y$$

donde n_y es el número de observaciones de Hs en un año.

7 RESULTADOS

Como se aprecia en la Tabla II, ninguna de las estaciones consideradas tuvo el mismo número de datos, esto se debe a que el aparato no siempre estuvo en el agua, ya que en ocasiones fué necesario mantenerlo en el laboratorio para su calibración y limpieza, o por ser requerido para su instalación en una localidad diferente por otros proyectos de investigación que se desarrollan dentro del mismo departamento de Oceanografía Física del I.I.O.

Para cada una de las estaciones del año y para todos los datos se calcularon histogramas de frecuencia de ocurrencia, utilizando un intervalo de clase de 0.1 m, los cuales se muestran en las figuras 4 a la 8. En estas mismas gráficas se presenta la comparación de la distribución de Hs con respecto a las FDPT utilizadas. Como no se compara figura contra figura, la Fig 5 presenta diferente escala vertical para una mejor muestra visual. Los factores de correlación obtenidos entre las FDPT y los valores centrales de los intervalos de clase se dan en la Tabla III.

Los valores de Hs mínimos, máximos, modales así como sus porcentajes de ocurrencia, para cada uno de los hitogramas presentados, se dan en la Tabla IV.

Las figuras 9 a la 13 muestran el ajuste a una recta de los valores de probabilidad de ocurrencia acumulativa de

Tabla II. Total de registros analizados.

Estación del año	Meses que incluye	Registros Buenos
Primavera	Marzo-Mayo	1063
Verano	Junio-Agosto	876
Otoño	Septiembre-Noviembre	784
Invierno	Diciembre-Febrero	823
Todas		3546

PRIMAVERA
MZO. A MYO. DE 1987, 88, 89.

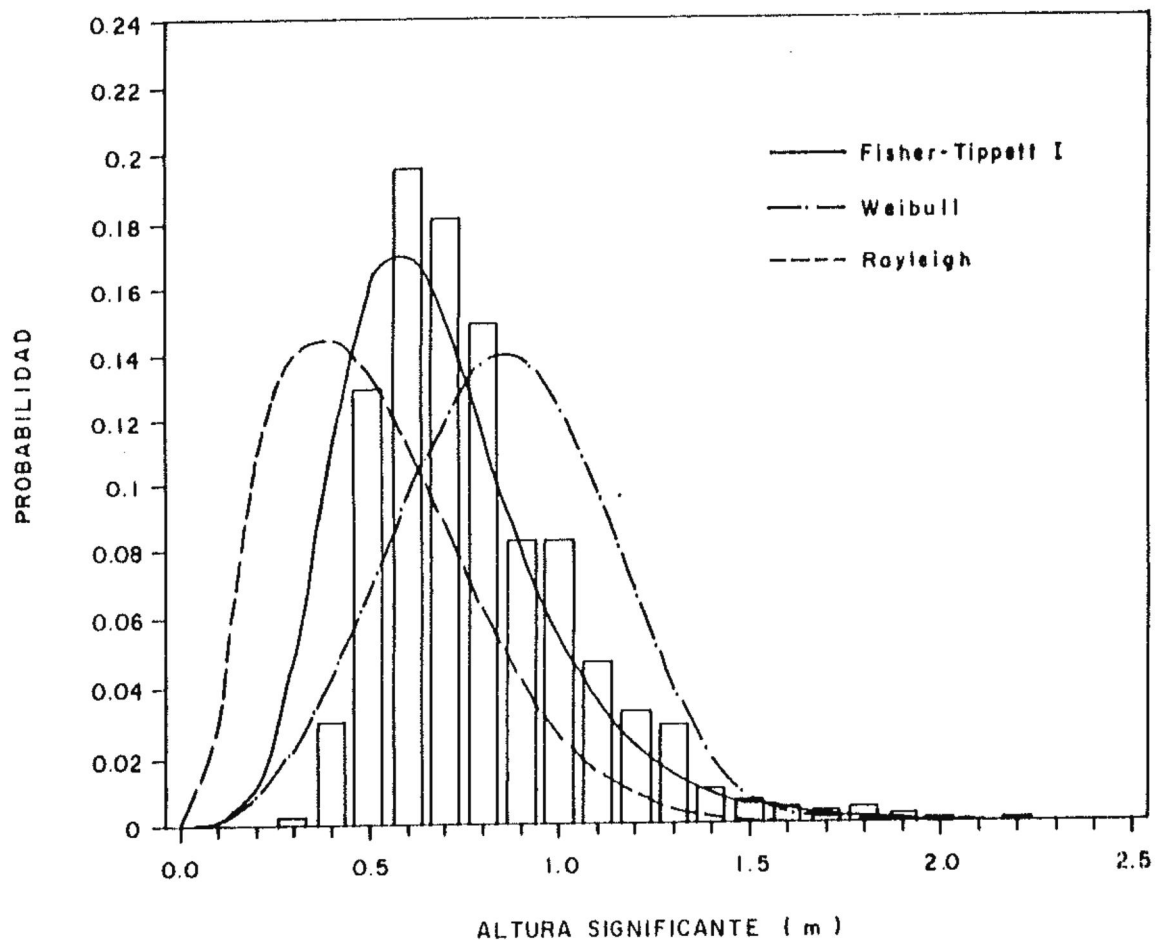


Figura 4. Distribución de probabilidad de ocurrencia de H_s y su comparación con las funciones de distribución de probabilidad teóricas.

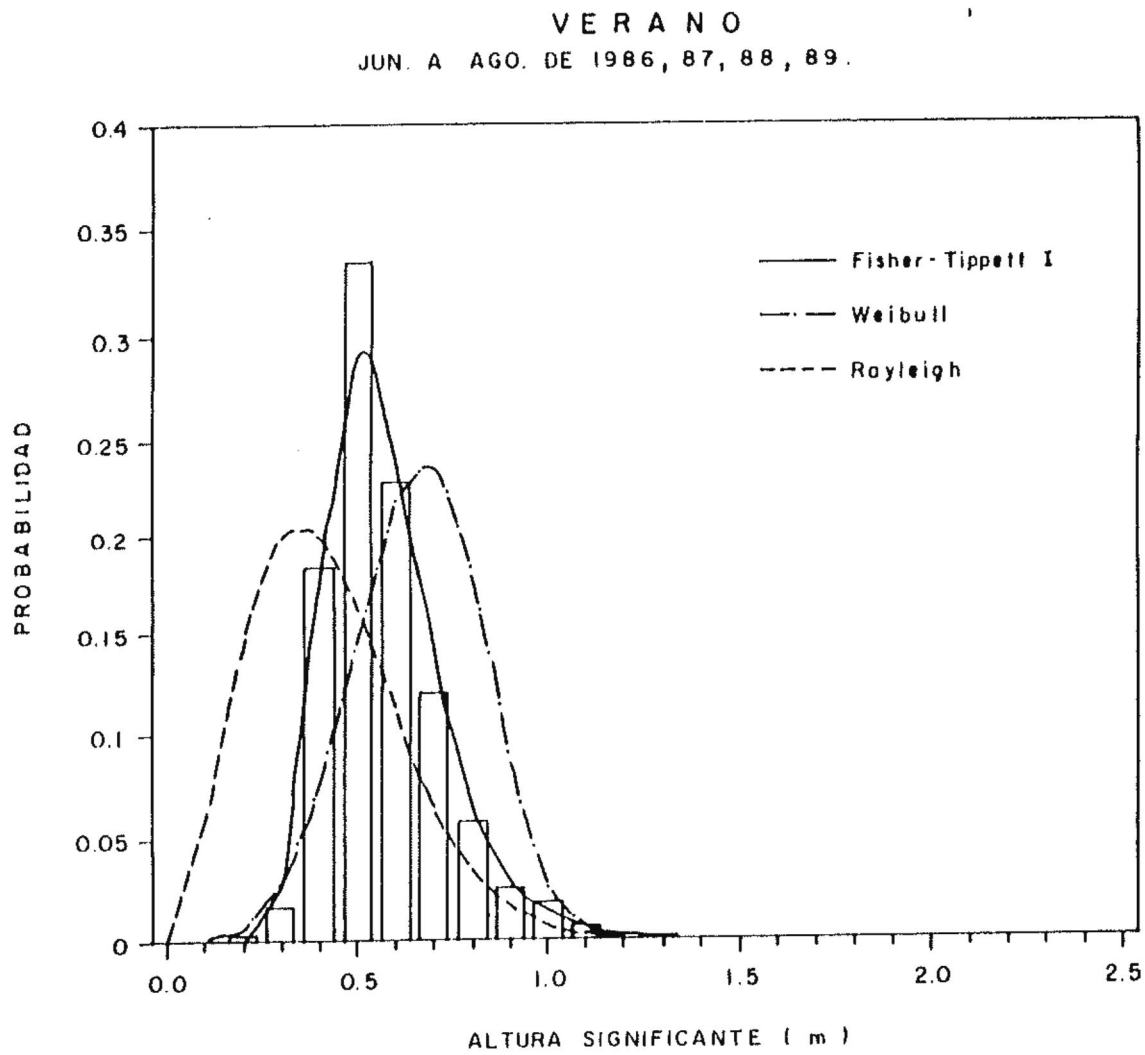


Figura 5. Similar a la figura 4 para la estación de verano.

OTOÑO
SEP. A NOV. DE 1986,87,88.

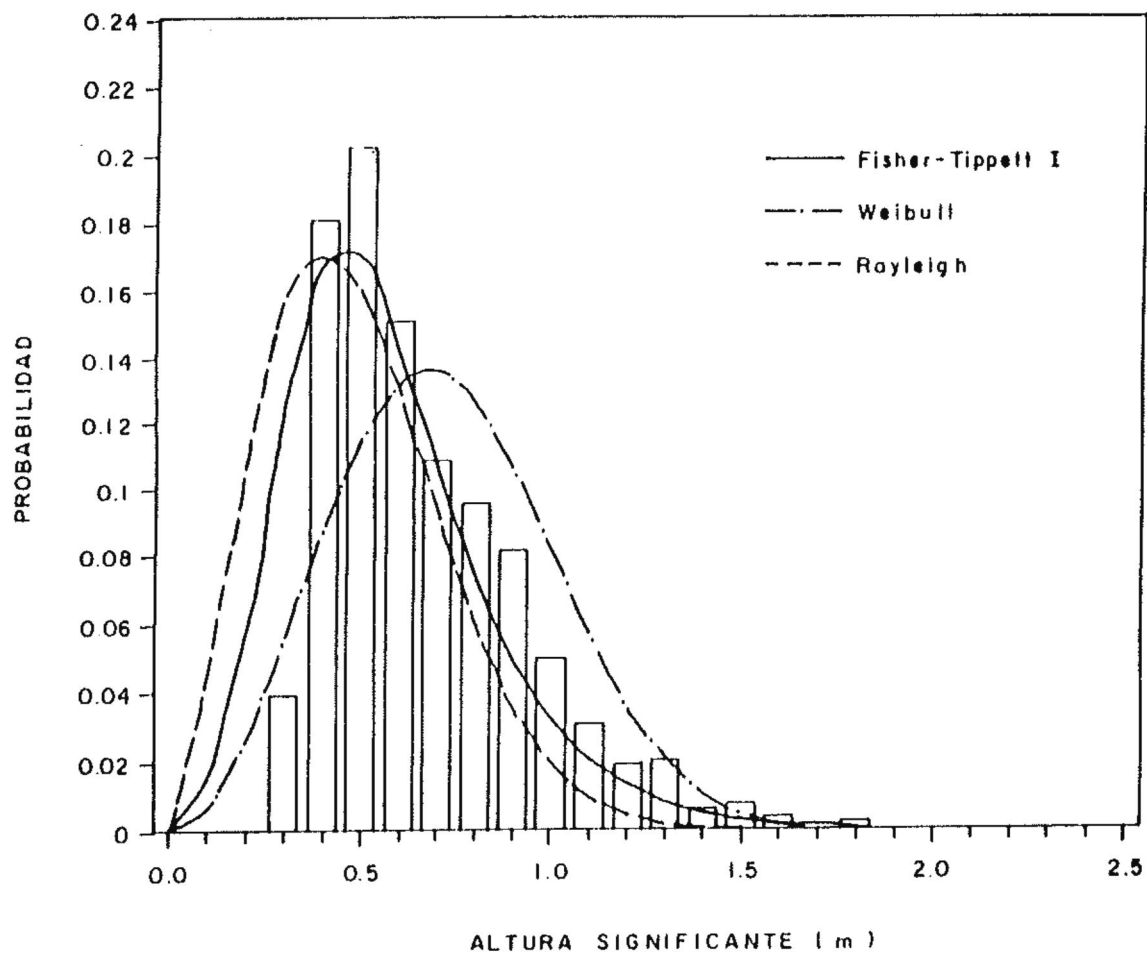


Figura 6. Similar a la figura 4 para la estación de otoño.

INVIERNO
DIC. A FEB. DE 1987,88,89.

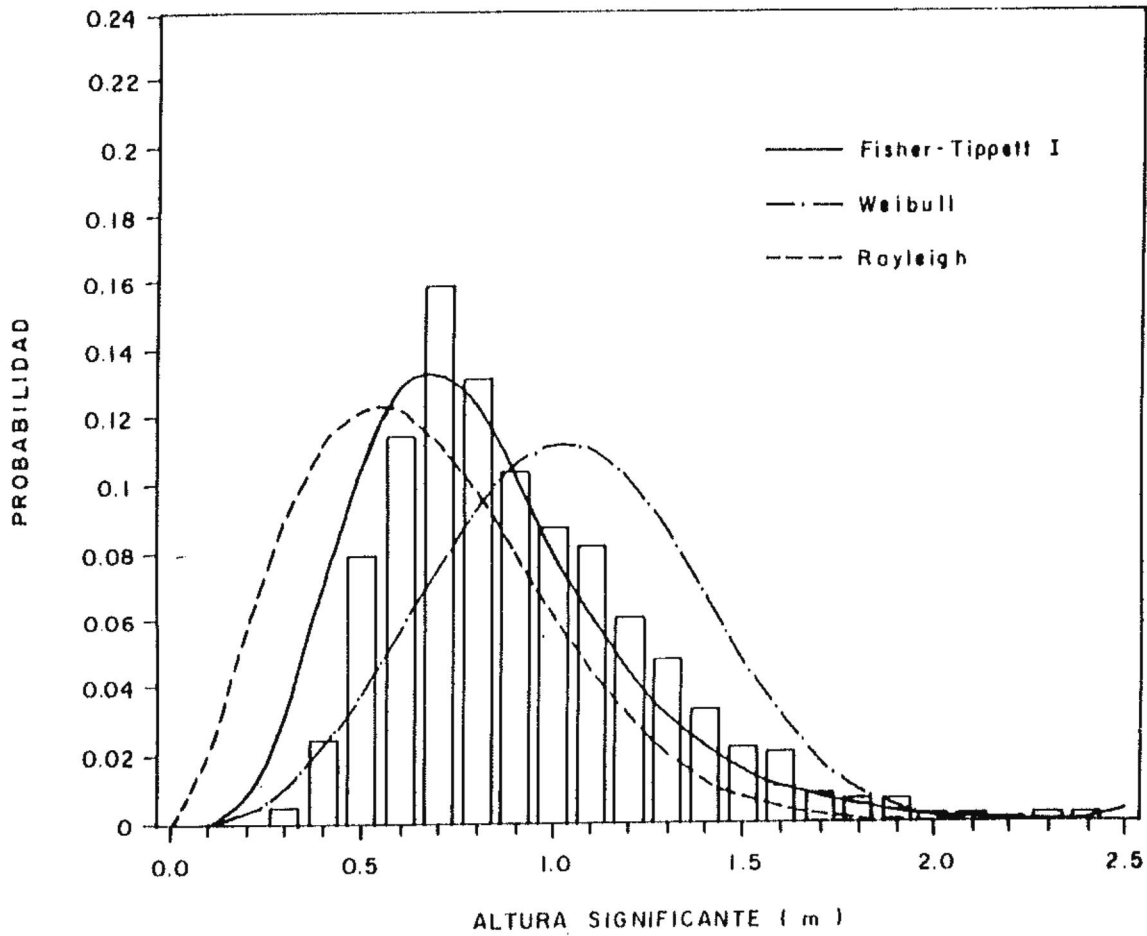


Figura 7. Similar a la figura 4 para la estación de invierno.

TODOS LOS DATOS
AGO. DE 1986 A JUL. DE 1989

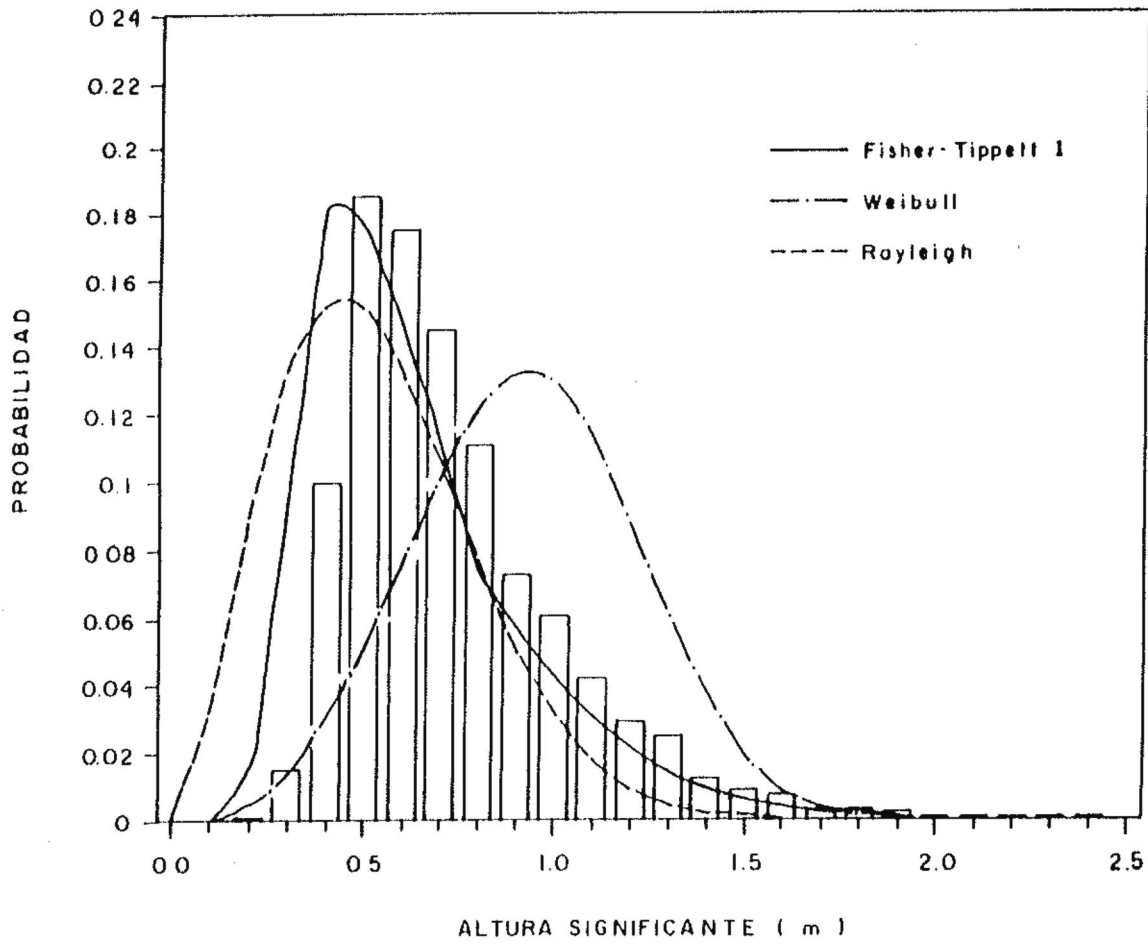


Figura 8. Similar a la figura 4 para todos los datos.

Tabla III. Factor de correlación en el ajuste de las tres distribuciones de probabilidad de ocurrencia teóricas.

Tipo de distribución	Estación del año				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Todos
Fisher Tippett-I	0.995	0.998	0.994	0.995	0.995
Weibull	0.878	0.931	0.938	0.921	0.880
Rayleigh	0.878	0.931	0.938	0.921	0.880

Tabla IV. Valores mínimos, máximos y modales de Hs (en metros) calculados para cada estación del año y su porcentaje de ocurrencia.

Estación del año	mín.	%	máx.	%	moda	%
Primavera	0.3	0.28	2.2	0.09	0.6	19.5
Verano	0.2	0.34	1.3	0.11	0.5	33.5
Otoño	0.3	3.95	1.8	0.26	0.5	20.3
Invierno	0.3	0.49	2.4	0.24	0.7	15.9
Todas	0.2	0.08	2.4	0.06	0.5	18.5

Hs, graficados utilizando las transformaciones de ejes para papel probabilidad descritas en la sección 6.1, según lo requiere la FDPT de FT-I, ya que fué esta función la que presentó la correlación más alta, al compararla con la frecuencia de ocurrencia de Hs para cada estación del año y todos los datos. Los valores de los parámetros α (ordenada al origen) y β (pendiente) que determinan a estas rectas, son dadas en cada figura y corresponden al eje exterior izquierdo definido como $y = -\ln[-\ln(p)]$.

Utilizando la FDPT de FT-I fueron estimados los periodos de retorno " H_{50} " y " H_{100} ", para las diferentes estaciones del año y para todos los datos, los cuales se presentan en la Tabla V.

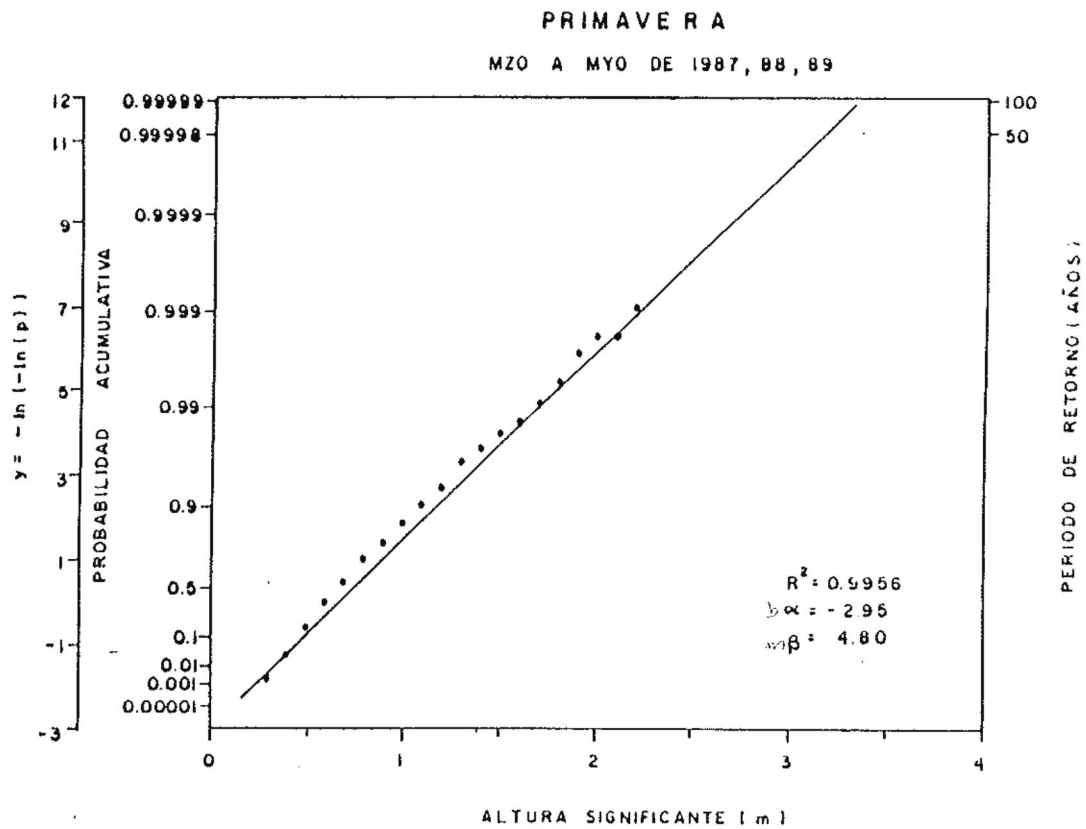


Figura 9. Probabilidad acumulativa de H_s utilizando la transformación de ejes de la función Fisher-Tippett I.

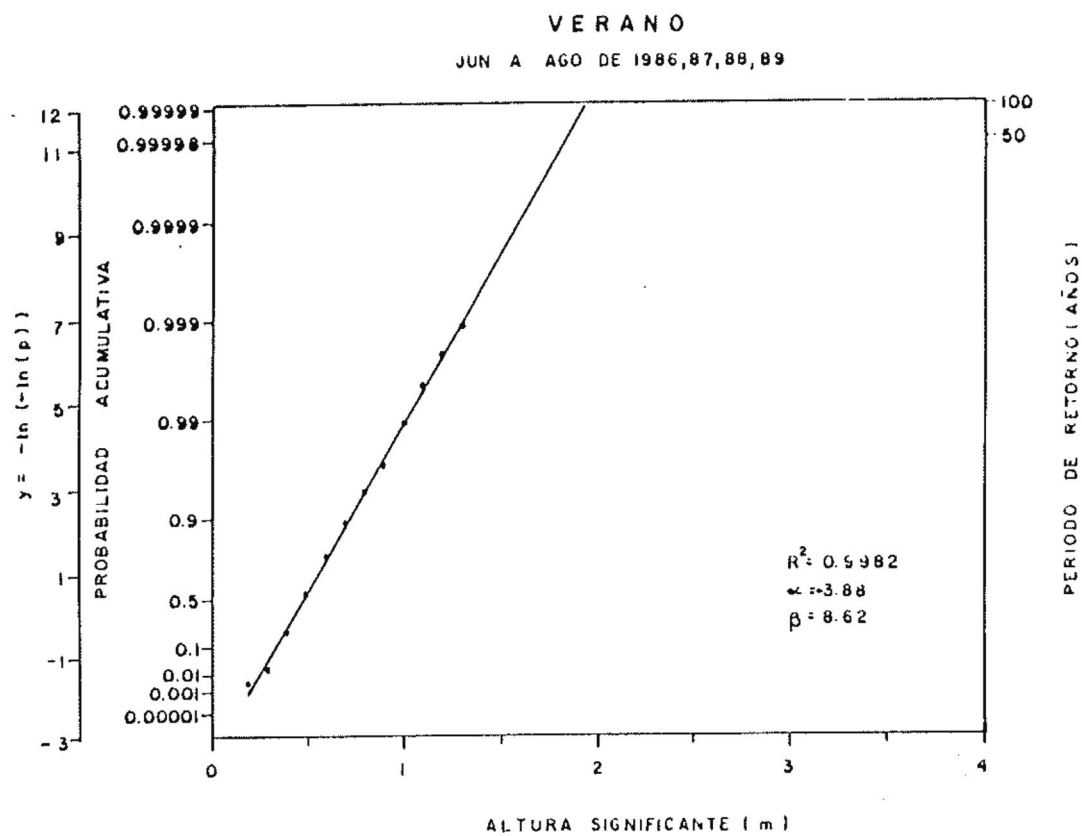


Figura 10. Similar a la figura 9 para la estación de verano.

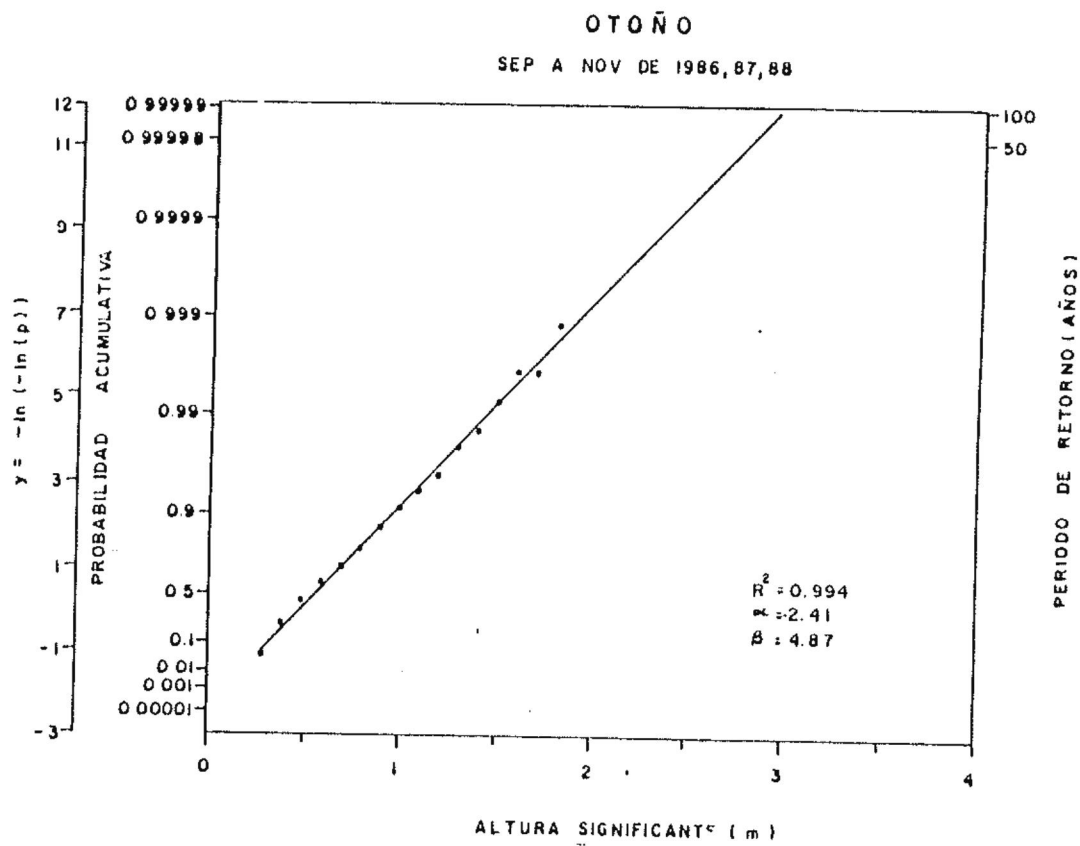


Figura 11. Similar a la figura 9 para la estación de otoño.

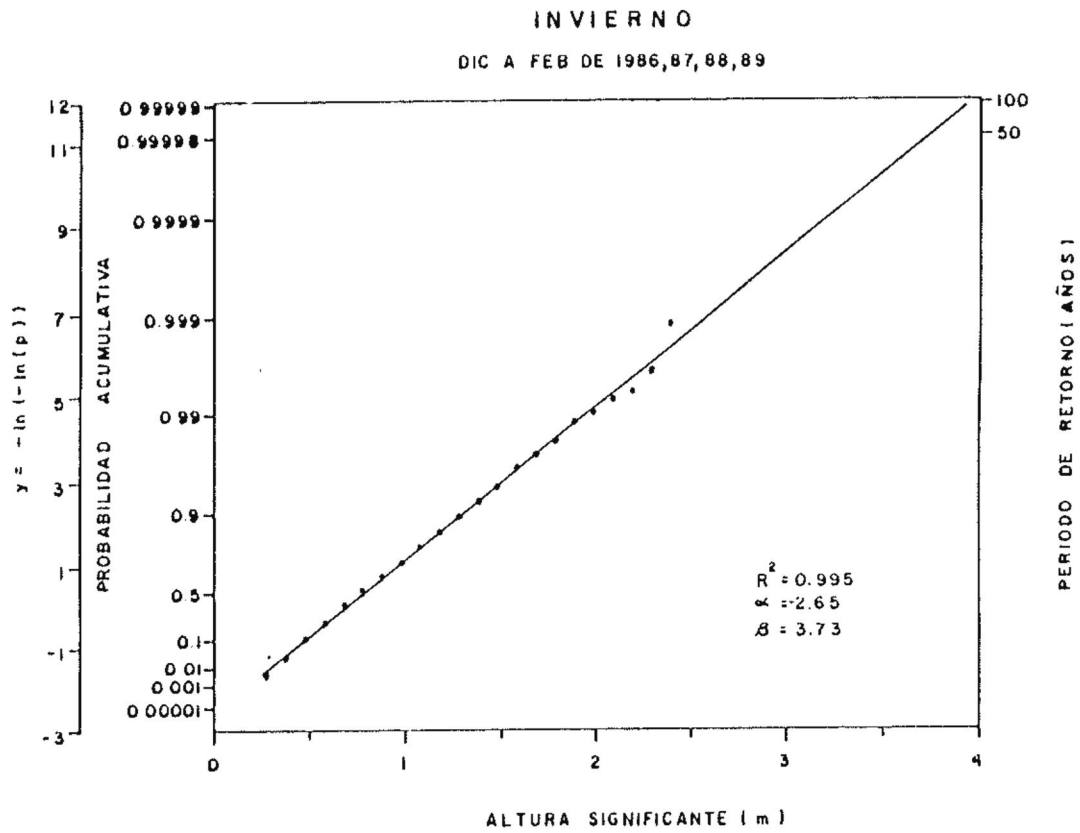


Figura 12. Similar a la figura 9 para la estación de invierno.

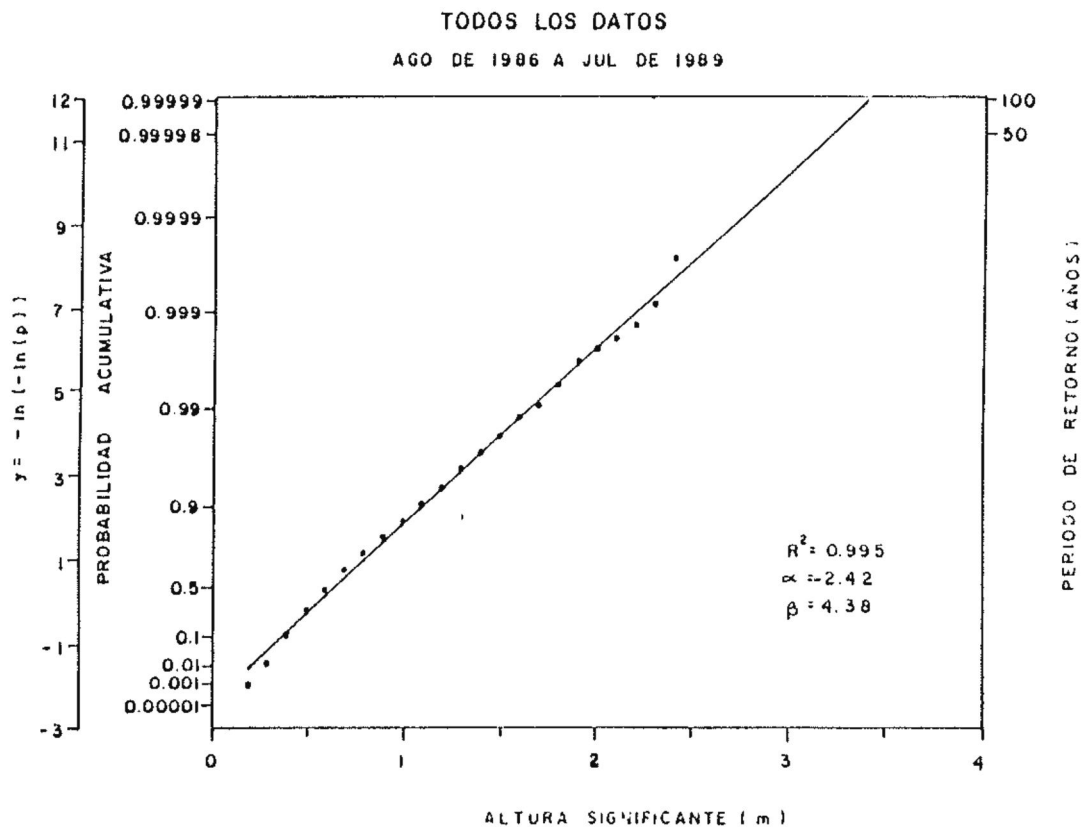


Figura 13. Similar a la figura 9 para todos los datos.

Tabla V. 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.

Estación 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

8 DISCUSIONES

Este trabajo puede considerarse como el primero en analizar la base de datos de oleaje más completa en lo referente a cobertura temporal (tres años de información), además de que la información fué obtenida dentro de la Bahía misma.

En general, dentro del comportamiento de las alturas para todos los datos, se encontró que en invierno se tienen las olas más grandes (2.4 m) en la BTS (Figura 4) y (Tabla IV), ya que es en esta época cuando se forman las tormentas extratropicales al noreste del Pacífico Norte. González y Sánchez (1985) con información del CDIP encuentran que la mayor probabilidad de ocurrencia de alturas extremas, es también para invierno (meses de Enero y Febrero). Las alturas más pequeñas que el instrumento logro registrar se presentaron en verano, siendo de 0.2 m (Figura 5), mientras que otoño y primavera pueden ser consideradas como estaciones de transición, ya que en la primera, los valores de Hs se incrementan hasta alcanzar su máximo en invierno, y en primavera se observa un decremento en las alturas hasta alcanzar los mínimos en verano. Estos resultados son similares a los encontrados por Martínez Díaz de León (et. al. 1988), los cuales sólo presentan el análisis del primer año de información (Septiembre de 1986 a Agosto de 1987) de los datos considerados en este trabajo.

Todos los histogramas obtenidos (Figuras 4 a la 8), resultaron de forma unimodal, lo cual facilita el ajuste de las funciones de distribución de probabilidad.

Se espera que los resultados obtenidos a partir del análisis de una mayor cantidad de datos que los utilizados en este trabajo presenten cambios mínimos, en el comportamiento de las curvas ajustadas de las figuras 9 a la 13, ya que el efecto de olas con H_s mayores que las registradas, como las ocurridas en el mes de Enero de 1988 (invierno), en donde se presentó una tormenta extratropical al noreste del Océano Pacífico Norte, acompañada de fuertes vientos y olas con alturas hasta de seis metros Seymour (1989a) y que no fué medida, sin embargo, esta interpretación debe tomarse con cuidado ya que no se cuenta con dicha información. Si se acepta dicha suposición las rectas nos indicarían valores más grandes de H_s que los aquí calculados para 50 y 100 años. Seymour (1989b) reporta un período de retorno de por lo menos 200 años para este evento.

La mejor caracterización de las distribuciones de H_s para todos los datos y para las diferentes estaciones del año, comparando las tres FDPT utilizadas, se logró con la función de FT-I (Tabla III), con la cual se obtuvieron valores de H_{50} entre 1.85 y 3.70 m y de 1.94 a 3.97 m para H_{100} . Esto concuerda con lo encontrado por Miranda (1985), que reporta

alturas de 3.30 y 3.50 m para 50 y 100 años respectivamente, usando información del FNWC y $H_{50} = 3.19$ m y $H_{100} = 3.30$ m con datos del CDIP.

Al calcular alturas de olas para períodos de retorno de n número de años, ajustando FDPT a la distribución de H_s utilizando "mínimos cuadrados", no se pueden estimar intervalos de confianza, como es el caso particular del presente trabajo.

9 CONCLUSIONES

Este trabajo puede considerarse como el primero en analizar la base de datos de oleaje más completa en lo referente a cobertura temporal (tres años de información), además de haber sido medida dentro de la Bahía.

Las alturas más grandes registradas en los tres años de medición fueron de 2.4 y 2.2 metros presentadas en invierno y primavera, y las mínimas en verano (0.2 m).

En general, la función FT-I realiza una mejor caracterización del oleaje en todos los casos, en comparación con Weibull y Rayleigh.

Para la estación ROMPEOLAS1, utilizando la función de FT-I se encuentran valores de H_{50} entre 1.85 y 3.74 m y de 1.94 a 3.97 m para H_{100} .

10 BIBLIOGRAFIA

- Carter D.J.T., P.G. Challenor, J.A. Ewing, E.G. Pitt, M.A. Srokosz y M.J. Tucker., 1986. Estimating Wave Climate Parameters for Engineering Applications. Institute of Oceanographic Sciences. Offshore Technology Report, OTH 86-22B, 130 p.
- Dattatri J., H.Raman, y N.Jothi Shankar. 1979. Height and Period Distributions for Waves off Mangalore Harbour-West Coast. Journal of Geophysical Research. Vol.84 No.C7. 3767-3772 pp.
- Draper, L. 1976. Waves at Dowsing Light Vessel, North Sea. IOS Report No. 31, 19 p.
- González Calvillo A. y A. Sánchez. 1985. Estadística de oleaje frente al rompeolas del puerto de Ensenada B.C. Dirección General de Oceanografía. Secretaría de Marina. Reporte Técnico #3.1.8, 32 p.
- Longuet-Higgins, M.S. 1952. On the statistical distribution of the heights of sea waves. J. Mar. Res., Vol. 12, 1-13 pp.
- Martínez Díaz de León A. y C. Nava Button. 1987. Sistema de Adquisición, Clasificación y Análisis de registros de oleaje. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. Reporte Técnico 87-03, 22 p.

- Martínez Díaz de León A., C. Nava Button y F.J. Ocampo Torres. 1988. Estadística del oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C., de Septiembre de 1986 a Agosto de 1987. Revista de Ciencias Marinas, 15(3);1-20 pp., 1989.
- Miranda Vara J.I. 1985. Modelo Estadístico de Valores Extremos para Ensenada B.C. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Tesis de Licenciatura. 28 p.
- Seymour J. Richard. 1989 (a). The Great Storm of January 1988. Journal of the American Shore and Beach Preservation Association, Vol. 57, No. 4. Editorial pág. 2.
- Seymour J. Richard. 1989 (b). Wave Observations in the Storm of 17-18 January, 1988. Journal of the American Shore and Beach Preservation Association, Vol. 57, No.4. 10-13 pp.
- Shahul Hamed T.S. y Baba M. 1985. Wave Height Distribution in Shallow Water. Ocean Engineering. Vol.12 No.4 309-319 pp.
- Silvester R. 1974. Coastal Engineering, 1. Generation, Propagation and Influence of Waves. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 457 p.
- Teh-Fu y Feng-Shi M. 1980. Prediction of extreme wave heights and wind velocities. J. Waterway Port Coastal and Ocean Division, Vol.106 No. ww4, 469-479 pp.

- Ulloa Torres M.J. 1989. Refracción Lineal del Oleaje Aplicada al Puerto de Ensenada. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Tesis de Licenciatura. 59 p.

APENDICE A

LISTA DE SIMBOLOS QUE APARECEN EN LA TABLA I.

P2, P3, P4, >P4	Datos consecutivos en la serie con el mismo valor numérico.
ERR	Datos erráticos.
CON	Número de veces que se repite ERR.
ASIME	Asimetría.
KURTO	Kurtosis.
H(MAX)	Altura máxima.
VARZA	Varianza.
HS	Altura significativa.
H10	Altura un décimo.
HRSM	Raíz cuadrática media.
TZ	Período de cruces por cero.
HMO	Altura significativa espectral.
TP	Período del pico espectral.
TM01	Período promedio espectral.
TM02	Período promedio espectral (cruces por cero).
TM24	Período promedio espectral (crestas).
E	Ancho de banda espectral.
QP	Amplitud del pico espectral.