

Análisis del comportamiento de los niveles medios y extremos del mar en la costa sur de Cuba*

**Libertad RODAS FERNANDEZ

**Marcelino HERNANDEZ GONZALEZ

RESUMEN. *El trabajo se confeccionó con los datos de tres estaciones mareográficas de la costa Sur de Cuba, donde se observó una buena correspondencia entre las variaciones de los valores medios anuales del nivel del mar. El coeficiente de correlación lineal entre estaciones en temporadas ciclónicas resultó mayor que el anual. Los mayores picos en la marcha histórica del nivel se repitieron en las tres estaciones en los años 1972, 1975, 1978 y 1983. Este aumento fue provocado por el fenómeno de escala global "El niño". Los máximos valores del nivel del mar se observaron siempre dentro de la temporada ciclónica. Se calcularon las funciones teórica y empírica de distribución regional de los valores máximos y mínimos extremos y sus intervalos de confianza.*

INTRODUCCION

El estudio de las características de las oscilaciones del nivel del mar en diferentes escalas de tiempo posee un gran valor científico y socio-económico para Cuba. En este sentido, es importante determinar tanto las particularidades del nivel del mar como el comportamiento de éste en condiciones extremas. Solo así, se pueden concebir correctamente aquellos proyectos de obras costeras y marítimas, cuyas estructuras de forma estable o eventual, serán afectadas por las oscilaciones del nivel del mar.

El cálculo de la función teórica de distribución regional de los valores extremos del nivel sumario del mar posee gran importancia para cualquier tipo de construcción o instalación costera. Con la ayuda de la misma se puede conocer la probabilidad de ocurrencia de diferentes valores extremos del nivel del mar en distintos períodos de tiempo.

*Manuscrito aprobado en junio de 1992.

**Centro de Oceanología de la Academia de Ciencias de Cuba.

Además, un mejor conocimiento de las características de las variaciones del nivel del mar hace posible determinar importantes aspectos de la interacción océano-atmós-

fera a mediano y largo plazos, como la elaboración de pronósticos confiables de los eventos del nivel del mar de escala sinóptica.

ilbna

MATERIALES Y MÉTODOS

Niveles Medios

En el cálculo de los valores medios del nivel del mar se utilizaron los datos horarios

de las estaciones mareográficas (Fig. 1) de:

Casilda	1972-1988.
Cabo San Antonio	1971-1988.
y Cabo Cruz	1974-1979.

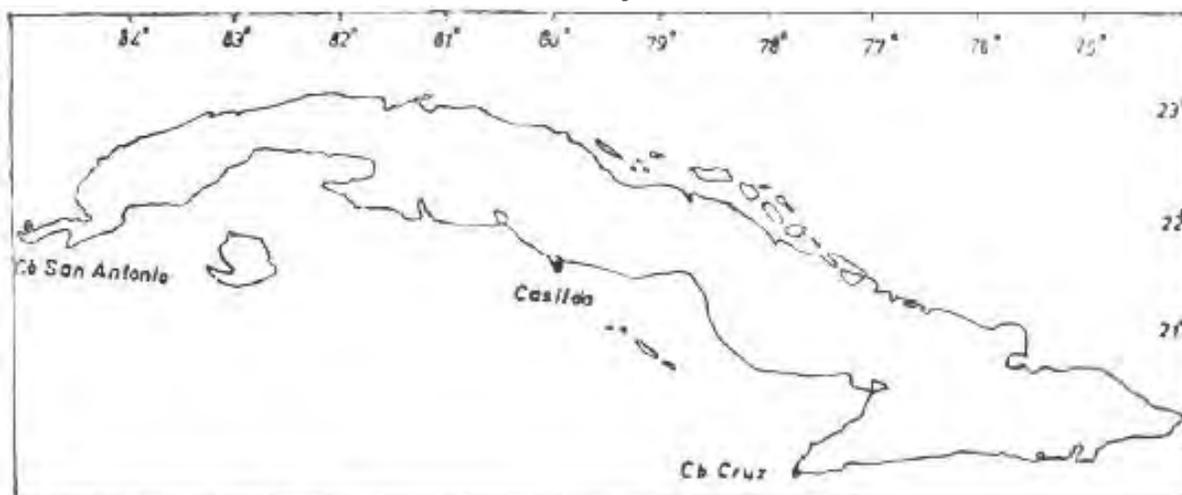


Fig. 1. Ubicación geográfica de las estaciones.

Los valores del nivel medio mensual y anual se determinaron según la fórmula:

$$\bar{X} = 1/N \sum_{i=1}^N x_i$$

donde \bar{X} es el valor del nivel medio mensual o anual.

\bar{X} son los valores medios diarios cuando se calculan los valores medios mensuales (o los valores medios mensuales cuando se calculan los valores medios anuales) (Guidrometeoizdat), (1973).

El cálculo del valor medio histórico se obtiene según la fórmula:

$$H_0 = H \pm \varepsilon$$

donde:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{N}, \varepsilon = t_a \frac{\sigma_H}{\sqrt{N}}, \sigma_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{N}}$$

donde:

H es el nivel medio histórico,

ε es el error probable,

t_a es el criterio de Student,

σ_H es la desviación estándar,

y N es el número de años.

Los coeficientes de correlación se calcularon según la fórmula de Pearson.

El coeficiente de correlación entre los valores medios anuales obtenidos en dos puntos, se denotó por rA y por rTA a los

coeficientes de correlación de las temporadas ciclónicas tomando como x e y el valor medio del nivel del mar para cada año desde junio a noviembre.

Se calculó además el valor del error probable, con la finalidad de determinar si r es estadísticamente significativo ($r > 4E$), o no ($r < 4E$).

$$E = 0,674 \frac{1 - r_{xy}^2}{\sqrt{n}} \quad E = 0,674 [(1 - r_{xy}^2) / \sqrt{n}]$$

En el caso de Casilda se hizo necesario realizar un ajuste de valores medios anuales ya que se efectuó un cambio de cero del puesto de -95 a -163 a partir del año 1983. El ajuste consistió en restar 68 cm ($163 - 95 = 68$) a los valores de 1983 en adelante y adicionar una corrección D , que se obtuvo con ayuda de la estación de apoyo (en nuestro caso, Cabo San Antonio).

$$D = d_1 - d_2$$

d_1 es la diferencia entre los valores medios anuales de Casilda y Cabo San Antonio desde 1972 hasta 1981.

d_2 es la diferencia entre los valores medios anuales de Casilda y Cabo San Antonio desde 1983 hasta 1988. Nuestra D es igual a $+7,6$ cm.

El nivel medio anual correspondiente a 1982 se obtuvo de la ecuación de regresión lineal:

$$y = A + Bx, \quad A = 76,85, \quad B = 0,75$$

Con la finalidad de construir los gráficos de la marcha anual, se calcularon las desviaciones de los valores medios mensuales con respecto al valor medio anual. Se determinó el valor medio de muchos años de las desviaciones de los valores medios mensuales en cada mes del año y con los mismos se construyó la marcha anual media. También se tomaron los valores de las desviaciones máximas y mínimas para construir su marcha anual.

Niveles extremos

Para obtener la función de distribución regional de los valores extremos del nivel del mar se utilizaron los valores máximos y mínimos anuales de las estaciones de Cabo San Antonio y Casilda durante el período 1972-1988.

La estadística de los valores extremos se basa en la Ley Doble Exponencial (Guerman y Levikov, 1988; Guidrometeoizdat, 1973), la cual se expresa de la siguiente forma:

$$P = \exp(-e^{-y})$$

La variable de reducción y es una función de x , entonces:

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

$$P = (T-1)/T$$

$$y = -\ln \ln [T/(T-1)]$$

$$1-P = m/(n+1)$$

Otros aspectos de los fundamentos del método se explican en el trabajo de Guerman y Levikov, (1988) y en el de Guidrometeoizdat (1973). Con el fin de obtener la función teórica de distribución regional se tomaron los datos de las estaciones de Casilda y Cabo San Antonio. Esta última se localiza en la costa Norte, pero muy cercana al extremo occidental de Cuba, lo que permitió seleccionarla como estación de apoyo por la escasez que existe de estaciones con registros largos en la costa S de Cuba y en todo el país en general.

En calidad de información primaria se tomaron los valores extremos máximos y mínimos anuales del nivel del mar de las series de datos horarios de Casilda y Cabo San Antonio (1972-1988).

Se aplicó el criterio de homogeneidad (Guerman y Levikov, 1988; Guidrometeoizdat, 1973) para comprobar si las series de datos son homogéneas desde el punto de vista estadístico.

Para cada estación se calcularon las desviaciones de los valores extremos con respecto al nivel medio anual.

$$h_{max} = H_{max} - H$$

$$h_{min} = H_{min} - H$$

Los valores de h_{max} y h_{min} así obtenidos se ordenan de mayor a menor.

Los valores máximo y mínimo anuales de Casilda correspondientes al año 1982 se establecieron por un gráfico de regresión lineal con Cabo San Antonio.

Las series de h_{max} y h_{min} se normalizaron con el valor $h_{2,33}$ (desviación media anual de los extremos) que corresponde al valor medio de la variable y que es igual a la constante de Euler ($C=0,5777$) y los valores correspondientes a la función de distribución y al período de las medias anuales de los extremos son $1-P=0,43$ y $T_y=2,33$ años.

Los valores normalizados (k_{pmax}) y (k_{pmin}) constituyen las curvas empíricas de distribución de los valores máximos y mínimos en cada año.

Las funciones de distribución regional de los niveles extremos se obtuvieron promediando las curvas empíricas de los valores máximos y mínimos.

Las curvas empíricas de los valores extremos y las funciones regionales de distribución se plotean en la rejilla de probabilidades.

A continuación se procedió a determinar qué distribución límite seguían nuestras series, para lo cual fue aplicado el criterio de Jenkinson (Guerman y Levikov, 1988; Jenkinson, 1954), a partir del parámetro de distribución:

$$k = \frac{\ln \sigma / \sigma_2}{\ln 2}$$

$$k = [\ln(\sigma/\sigma)] / \ln$$

donde: σ es la desviación cuadrática media de todos los extremos, y σ_2 es la desviación para valores extremos observados una vez en 2 años.

Así se determina el parámetro de distribución (k):

Primera Distribución Límite ($-0,001 < k < 0,001$)

Segunda Distribución Límite ($k < -0,001$)

Tercera Distribución Límite ($k > 0,001$)

Las ordenadas de la función teórica de distribución regional se calcularon de acuerdo a la distribución límite obtenida. En este trabajo se utilizó la Segunda Distribución Límite, para los valores máximos extremos (Guidrometeoizdat, 1973).

$\chi_{p11} = \varepsilon + (\nu - \varepsilon) e^{\nu p/k}$ $\sigma_N = 1,0411$ $N = 17$
donde:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N x_i N^{1/k} - x_1}{N^{1/k} - 1} \quad \nu = \varepsilon + (\bar{X} - \varepsilon) (\ln 2)^{1/k}$$

$$1/k = \frac{\sigma (\ln x_m)}{\sigma_N}$$

$$\sigma (\ln x_m) = \sqrt{1/N \sum_{m=1}^N \ln^2 x_m - \ln x_m^2}$$

donde: \bar{x} es el valor de la mediana, tomando de la curva regional de distribución cuando $1-P=0,5$.

$\sigma (\ln x_m)$ es la desviación estándar de los logaritmos naturales; x_1 es el mayor de los máximos de x_m .

Los intervalos de confianza se obtuvieron por las fórmulas:

$$\ln x_p \text{ (superior)} = \ln x_p + \sigma (\ln x_p)$$

$$\ln x_p \text{ (inferior)} = \ln x_p - \sigma (\ln x_p)$$

$$\text{Para } (0,15 < 1-P < 0,85) \quad \sigma (\ln x_p) = \frac{\sigma_y \sqrt{N}}{k \sqrt{N}}$$

donde: $\sigma_y \sqrt{N}$ se toma de la tabla 1.14 de Guidrometeoizdat (1973).

Si $(1-P < 0,15)$ se toman las relaciones de la tabla 1.15 de Guidrometeoizdat (1973).

Para los valores mínimos extremos se utilizó la Tercera Distribución Límite (Guidrometeoizdat, 1973).

$$x_p = \varepsilon + (v - \varepsilon) e^{-y_p/k}$$

$$v = \bar{X} + \sigma_x A(k)$$

$$\varepsilon = v - \sigma_x B(k)$$

donde A(k) y B(k) se tomaron de la tabla 1.13 de Guidrometeoizdat (1973).

Los intervalos de confianza se calcularon mediante la siguiente expresión:

$$\sigma(x_p) = \lambda_{III} \frac{\sigma_x}{2\sqrt{N}}$$

donde λ_{III} es una función compleja del parámetro $1/k$ y del periodo T . Su valor se tomó del monograma 1.8 de Guidrometeoizdat (1973).

Una vez determinada la función teórica de distribución regional se determinaron los valores de las desviaciones máximas y mínimas del nivel sumario del mar y los mayores valores de las alturas máximas y mínimas del nivel del mar (Guidrometeoizdat 1973).

RESULTADOS Y DISCUSION

Niveles medios

Se observó una buena correspondencia entre las variaciones de los valores medios anuales del nivel sumario de las estaciones de Cabo San Antonio, Casilda y Cabo Cruz, lo cual se refleja con una intensidad semejante en toda la región (Figs. 2 y 3).

En dos de los casos rTC resultó sensiblemente superior a rA (Tabla 1), lo cual significa que durante las temporadas ciclónicas (TC) se acentuó el carácter regional de las variaciones de baja frecuencia del nivel del mar (escala de meses). Entre Cabo San Antonio y Casilda no sucede así, rA y rTC fueron similares. Para este caso, si hubiéramos tomado sólo los seis meses de la temporada ciclónica en cada año desde 1974 al 1979, se habría observado que el coeficiente rTC (0.69) es cada vez más pequeño.

A lo largo del período analizado se observaron cuatro picos, que se repitieron bastante fielmente en las tres estaciones durante los años 1972, 1975, 1978 y 1983 (Figs.

2 y 3). La presencia de tales aumentos en las medias anuales se atribuyó a la influencia del fenómeno de escala global "El Niño", conocido también por OSEN. Precisamente en 1972 y 1983 se produjeron con gran intensidad sendos eventos de este tipo, y se observaron los mayores aumentos del nivel medio anual de toda la serie. Ya se demostró fehacientemente la influencia de este fenómeno en los valores medios mensuales del nivel del mar en nuestro país (Blázquez, 1989); en muchos casos durante 1983 éstos resultaron superiores a otros valores medios mensuales e incluso a las medias anuales.

Los valores medios históricos (1972-1988) de Siboney, Casilda y Cabo San Antonio son 9,00 cm, 10,4 cm y 0,01 cm respectivamente (considerando el mismo plano de referencia). Ya en otros trabajos (Díaz Llanes, 1990) se había señalado la diferencia que existe entre Cabo San Antonio y Siboney, atribuyéndosele hipotéticamente dos posibles causas: una nivelación incorrecta y/o la influencia de factores oceanográficos. Se con-

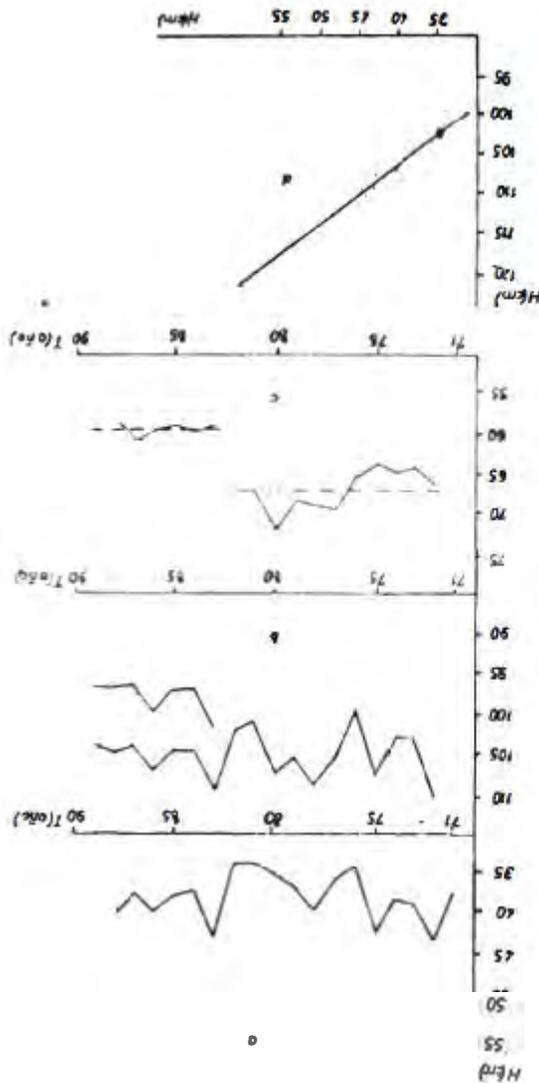


Fig. 2. Medias anuales del nivel del mar.
a, Cabo San Antonio; b, Casilda; c, diferencia; d, gráfico de dispersión entre los valores medios anuales de Cabo San Antonio y Casilda; $r=0,75$.

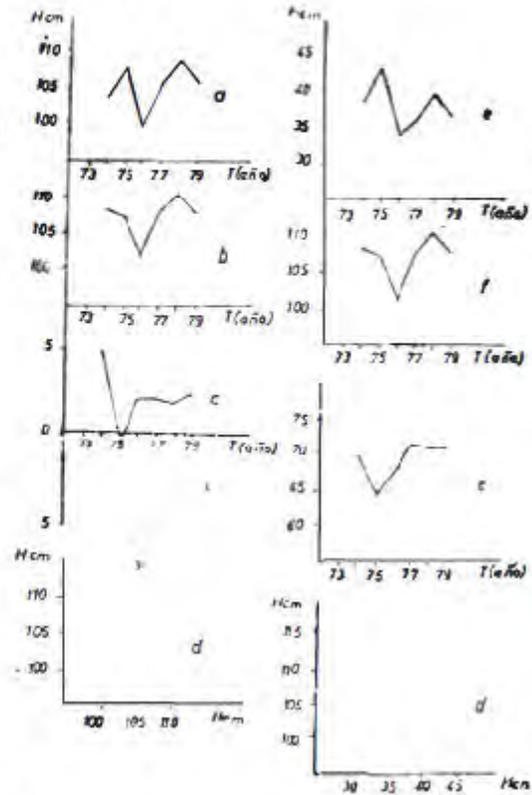


Fig. 3. Medias anuales del nivel del mar.
a, Casilda; b, Cabo Cruz; c, diferencia; d, gráfico de dispersión entre los valores medios anuales de Casilda y Cabo Cruz; $r=0,87$.
e, Cabo San Antonio; f, Cabo Cruz; c, diferencia; d, gráfico de dispersión entre los valores medios anuales de Cabo San Antonio y Cabo Cruz; $r=0,60$.

TABLA 1. *Coefficientes de correlación de los valores medios anuales*

Estaciones	n	rA	4E	rTC	4E
Cabo San Antonio	17	0,79	0,24	0,75	0,30
Casilda					
Cabo San Antonio	6	0,60	0,70	0,77	0,45
Cabo Cruz					
Casilda	6	0,87	0,26	0,96	0,09
Cabo Cruz					

sideró que la diferencia es muy grande como para tomar en serio la segunda hipótesis. Además, Cabo San Antonio se diferencia aún más de Casilda, cuyo nivel medio histórico (10,4 cm), es semejante al de Siboney (9,00 cm). Por tanto, se arribó a la conclusión de que la estación de Cabo San Antonio presenta errores de nivelación que provocan un aumento de la diferencia entre el valor medio histórico de la misma con las restantes.

Las marchas anuales de Casilda y Cabo San Antonio (Fig. 4) reflejan las principales variaciones estacionales del nivel del mar. El valor máximo de las mismas se observó en septiembre para Casilda, y en el caso de Cabo San Antonio en octubre. Estos máximos concuerdan perfectamente con la evolución de la temporada ciclónica que se extiende de junio a noviembre y que cobra en los meses de septiembre y octubre su máxima intensidad (López y Rubiera, 1988). Otro mes de mucha actividad es agosto donde precisamente se observó aumento en los valores de las desviaciones máximas y mínimas en Casilda.

De abril a junio se produjeron con más frecuencia alteraciones en el comportamiento de los valores medios mensuales, ya que se observó un aumento de las desviaciones máximas y mínimas, que no está en concordancia con la tendencia más suave del aumento de las desviaciones medias.

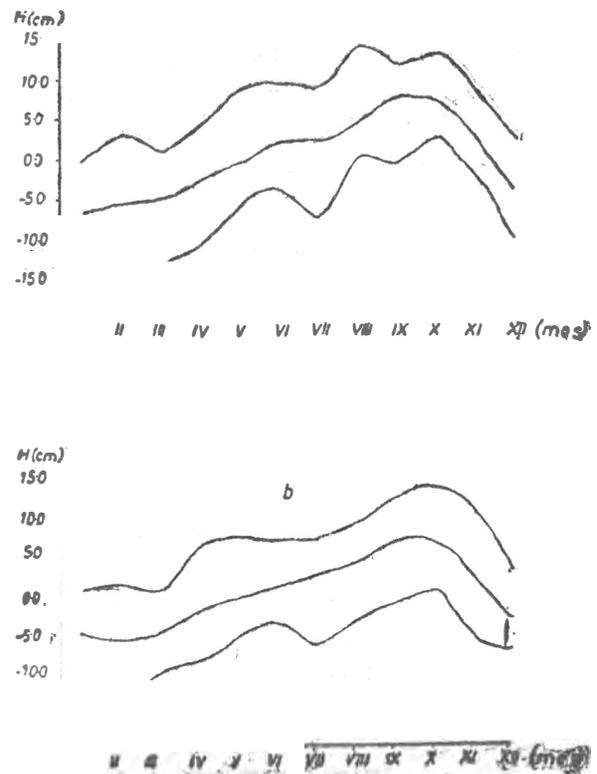


Fig. 4. *Marcha anual del nivel del mar.*
 a, Casilda (1972-1989); b, Cabo San Antonio (1971-1988).

Niveles extremos

En la estación de Casilda los valores extremos correspondientes a 1982 se restablecieron mediante gráficos de dispersión (Fig. 5 a, b) y ecuaciones de regresión lineal, tomando como punto de apoyo la estación de Cabo San Antonio que está completa en el período desde 1972 a 1988. Este paso fue necesario para poder trabajar con la metodología establecida, lo cual no contraría la calidad de los resultados (Guidromeizdat 1973). La distribución de los puntos en los gráficos de dispersión evidenció un bajo coeficiente de correlación lineal, lo cual es real tratándose de valores extremos anuales del nivel del mar (Guerman y Levikov, 1988) y afirma la teoría de que las series de valores extremos no son representativas.

Con la ayuda del criterio de homogeneidad se determinó que nuestras series son homogéneas para un período $T=10$ años y están incluidas dentro del triángulo de probabilidad de 68% (Fig. 6 a, b; Tablas 2 y 3) (Guerman y Levikov, 1988).

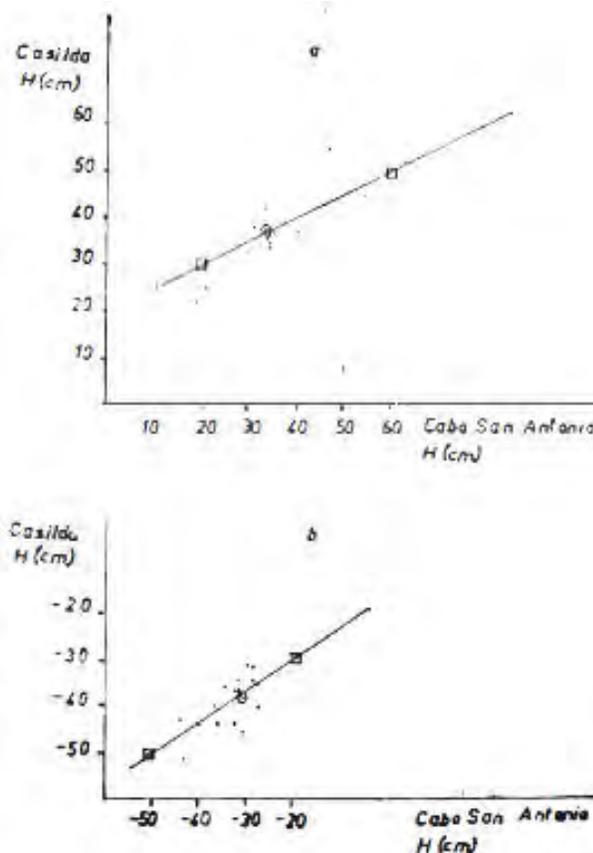


Fig. 5. Gráficos de dispersión y rectas de regresión lineal de los niveles extremos del mar, a, máximos; b, mínimos.

TABLA 2. Criterio de homogeneidad. Valores máximos extremos

Estación	No	Nr	Nef	1/Nef	$h_{10}/h_{2,33}$	η	T
Casilda	16	17	0,24	1,22	2,26	10,10	
Cabo San Antonio	17	17	0,24	1,24	2,24	9,90	

TABLA 3. Criterio de homogeneidad. Valores mínimos extremos

Estación	No	Nr	Nef	1/Nef	$h_{10}/h_{2,33}$	η	T
Casilda	16	17	0,24	0,88	2,25	10	
Cabo San Antonio	17	17	0,24	0,88	2,25	10	

En la Tabla 4 se expone el cálculo de la curva de distribución regional de los niveles extremos, máximos y mínimos, a partir de las series de niveles extremos anuales de Casilda y Cabo San Antonio, para un período de 17 años.

En las Tablas 5, 6, 7 y 8 se muestran los parámetros de Jenkinson, utilizados para determinar a qué distribución límite pertenecen nuestros valores extremos. En Casilda se obtuvo $k = -0,10$ para los máximos y $k = 0,49$ para los mínimos.

En Cabo San Antonio se obtuvo $k = -0,12$ para los máximos y $k = 0,67$ para los mínimos. Por lo tanto, los valores máximos extremos del nivel del mar pertenecen a la segunda distribución límite ($k < -0,001$) y los mínimos a la tercera distribución límite ($k > 0,001$) (Guerman y Levikov, 1988; Jenkinson, 1954).

Seguidamente se procedió a determinar la función teórica de distribución regional y sus intervalos de confianza. Los resultados se resumieron en las Tablas 9, 10, 11, 12 y 13. Las curvas empíricas de frecuencia acumulativa, las funciones de distribución regional y las funciones teóricas con sus intervalos de confianza son mostrados gráficamente en las rejillas de probabilidades de la Ley Doble Exponencial (Figs 7a, b; 8 a, b).

Además de la utilidad práctica antes señalada, los valores extremos del nivel del mar pueden ser utilizados en el estudio y análisis de la influencia de los fenómenos atmosféricos de escala sinóptica en las variaciones del nivel del mar, pero sólo en calidad de indicador relativo ya que al ser valores extremos del nivel sumario entonces en los mismos están implícitas oscilaciones de otro origen como las mareas.

En la estación de Casilda la ocurrencia de valores extremos del nivel del mar tuvo una buena correspondencia con los fenómenos de escala sinóptica (Fig. 9) en el período analizado (1972-1988). El máximo valor histórico del nivel del mar (220 cm) tuvo lugar cuando el huracán "Gilbert", el más intenso del período analizado pasaba al S de Cuba. El segundo valor en intensidad corresponde al paso del "Allen". Muchos de los valores máximos extremos anuales del nivel del mar coinciden con la ocurrencia de fenómenos de menor intensidad como las perturbaciones ciclónicas y las ondas tropicales, lo cual pone de manifiesto el carácter relativo que posee la influencia de este parámetro y nos confirma que debemos tomar en cuenta los eventos de menor fuerza en las variaciones del nivel del mar.

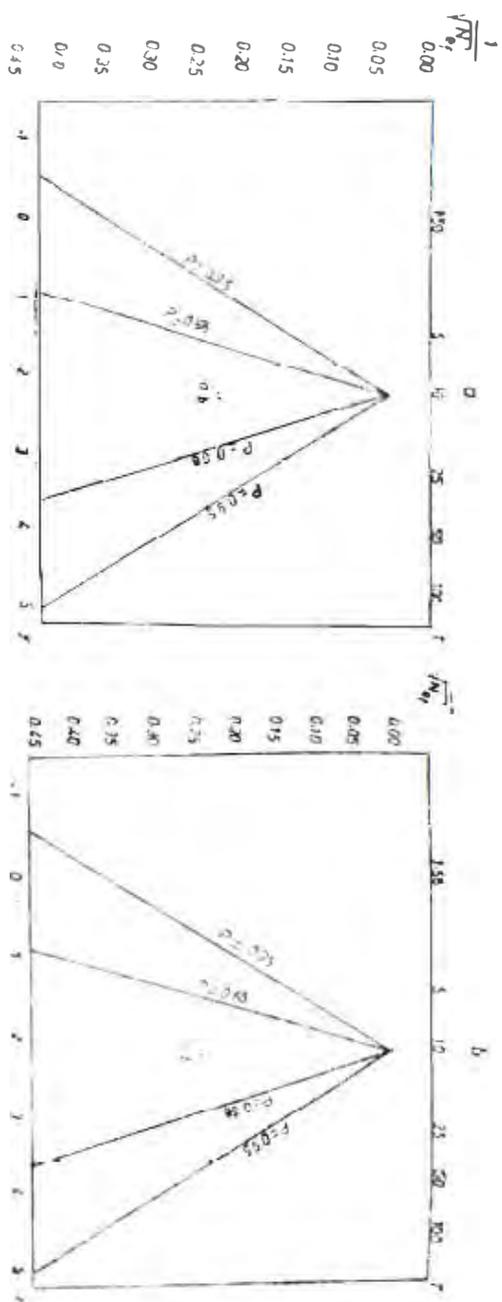


Fig. 6 Representación gráfica del criterio de homogeneidad para un periodo T 10 años. a, máximos; b, mínimos.

TABLA 4. Cálculo de la función empírica de distribución regional (Casilda-Cabo San Antonio) desde 1972 a 1988

Punto	1				2				1				2				1-P	P	y	1		2		Regional	
	Año	Hmax	Hmin	II	Hmax	Hmin	II	Hmax	Hmin	II	Hmax	Hmin	II	Hmax	Hmin	Kpmax				Kpmin	Kpmax	Kpmin	Kpmax	Kpmin	
72	148	70	110	79	6	44	38	-40	35	-38	1	55	-33	54	-28	0,056	0,944	2,854	1,49	0,89	1,59	0,88	1,54	0,88	
73	138	68	103	73	7	39	35	-35	34	-32	-2	43	-33	40	-28	0,111	0,889	2,140	1,16	0,89	1,18	0,88	1,17	0,88	
74	116	68	104	71	3	38	42	-36	33	-35	3	42	-35	37	-29	0,167	0,833	1,700	1,14	0,94	1,09	0,91	1,12	0,92	
75	141	72	108	73	10	43	33	-36	30	-33	4	39	-35	35	-30	0,222	0,778	1,382	1,05	0,94	1,03	0,94	1,04	0,94	
76	138	54	100	65	3	34	38	-46	31	-31	5	38	-36	35	-30	0,278	0,722	1,122	1,03	0,97	1,03	0,94	1,03	0,96	
77	142	55	106	70	-1	36	36	-51	34	-37	6	38	-36	35	-31	0,333	0,667	0,904	1,03	0,97	1,03	0,97	1,03	0,97	
78	146	71	108	74	7	40	38	-37	34	-33	7	38	-37	34	-31	0,389	0,611	0,707	1,03	1,00	1,00	0,97	1,02	0,98	
79	141	72	105	70	9	37	36	-33	33	-28	8	37	-37	34	-32	0,444	0,556	0,533	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
80	150	68	107	89	7	40	38	-39	54	-28	9	37	-38	34	-33	0,500	0,500	0,366	1,00	1,03	1,00	1,03	1,00	1,03	
81	136	58	101	69	-10	34	35	-43	35	-44	10	37	-38	34	-33	0,555	0,445	0,211	1,00	1,03	1,00	1,03	1,00	1,03	
82	-	-	-	68	3	34	37	-38	34	-31	11	36	-39	34	-33	0,611	0,389	0,057	0,97	1,05	1,00	1,03	0,99	1,04	
83	143	77	110	72	13	43	33	-33	29	-30	12	36	-40	33	-33	0,667	0,333	-0,095	0,97	1,08	0,97	1,09	0,97	1,06	
84	142	70	105	72	8	37	37	-35	35	-29	13	35	-43	33	-35	0,722	0,278	-0,409	0,95	1,16	0,97	1,12	0,96	1,12	
85	144	61	105	71	5	38	39	-44	33	-33	14	35	-44	33	-36	0,778	0,222	-0,409	0,95	1,19	0,97	1,16	0,96	1,16	
86	141	69	107	74	7	40	34	-38	34	-33	15	34	-44	31	-37	0,833	0,167	-0,582	0,92	1,19	0,91	1,16	0,91	1,18	
87	141	67	104	75	5	35	37	-37	40	-30	16	40	-46	30	-38	0,889	0,111	-0,983	0,89	1,21	0,88	1,19	0,88	1,22	
88	160	61	105	75	2	38	55	-44	37	-36	17	33	-51	29	-44	0,944	0,566	-1,059	0,89	0,38	0,85	1,38	0,87	1,38	

TABLA 5. *Parámetro de Jenkinson. Valores máximos extremos de la estación de Casilda*

n	Hmax	m	f	f'	hm	h ² m cm	hmf cm	h ² mf cm	hmf' cm	h ² mf' cm
1	136	1		1	-8	64	-8	64	-8	64
2	138	2-3	2	8	-6	36	-12	72	-54	288
3	141	4-7	4	20	-3	9	-12	36	-60	180
4	142	8-9	2	32	-2	4	-4	8	-64	128
5	143	10	1	19	-1	1	-1	1	-19	19
6	144	11		21	0	0	0	0	0	0
7	146	12-13	2	48	2	4	4	8	96	192
8	148	14	1	27	4	16	4	16	108	432
9	150	15	1	29	6	36	6	36	174	1044
10	160	16		31	16	256	16	256	496	7936
Σ	2297		16	236			-7	497	669	10283
	σ=5,56	σ=5,96		k=-0,10						

TABLA 6. *Parámetro de Jenkinson. Valores mínimos extremos de la estación de Casilda*

n	Hmin	m	f	f'	hm	h ² m cm	hmf cm	h ² mf cm	hmf' cm	h ² mf' cm
	54			1	-12	144	-12	144	-12	144
2	55	2	1	3	-12	121	-11	121	-33	363
3	58	3	1	5	-8	64	-8	64	-40	320
4	61	4-5	2	16	-5	25	-10	50	-80	400
5	62	6	1	11	1	1	1	1	11	11
6	68	7-9	3	30	2	4	6	12	60	120
7	69	10	1	9	3	9	3	9	57	171
8	70	11-12	2	44	4	16	8	32	176	704
9	71	14	1	25	5	25	5	25	125	625
10	72	14-15	2	56	6	36	12	72	336	2016
11	77	16	1	31	11	121	11	121	341	3751
Σ	1 061		16	241			5	651	941	8 625
	σ=6,37	σ=4,53		k=0,49						

TABLA 7. *Parámetro de Jenkinson. Valores máximos extremos de la Estación de Cabo San Antonio*

n	Hmax	m	f	f'	hm	h ² m cm	hmf cm	h ² mf cm	hmf' cm	h ² mf' cm
1	65	1	1	1	-8	64	-8	64	-8	64
2	68	2	1	3	-5	25	-5	25	-15	75
3	69	3	1	5	-4	16	-4	16	-20	80
4	70	4-5	2	16	-3	9	-6	18	-48	144
5	71	6-7	2	24	-2	4	-4	8	-48	96
6	72	8-9	2	32	-1	1	-2	2	-32	32
7	73	10-11	2	40	0	0	0	0	0	0
8	74	12-13	2	48	1		2	2	48	48
9	75	14-15	2	56	2	4	4	8	112	224
10	79	16	1	31	6	36	6	36	186	1 116
11	89	17	1	33	16	256	16	256	528	8 448
Σ			17	287	2		-1	435	703	10 327
	σ=5,06	σ=5,48		k=0,12						

TABLA 8. *Parámetro de Jenkinson. Valores mínimos extremos de la estación de Cabo San Antonio*

n	Hmin	m	f	f'	hm	h ² m cm	hmf cm	h ² mf cm	hmf cm	h ² mf cm
	-10				-15	225	-15	225	-15	225
2	-1	2		3	-6	36	-6	36	-18	108
3	2	3	1	5	-3	9	-3	9	-15	45
4	3	4-5-6	3	27	-2	4	-6	12	-54	108
5	5	7-8	2	28	0	0	0	0	0	0
6	6	9		17			1	1	17	17
7	7	10-11 12-13	4	88	2	4	8	16	176	352
8	8	14		27	3	9	3	9	81	243
9	9	15	1	29	4	16	4	16	116	464
10	10	16	1	31	5	25	5	25	155	775
11	13	17		33	8	64	8	64	264	2 112
Σ			17	289	-3	393	-1	413	707	4 449
	σ=4,93	σ=3,07		k=0,67						

TABLA 9. *Cálculo de la función teórica de distribución regional de los valores máximos extremos de acuerdo a la II Distribución Límite*

T	1,01	1,10	1,50	5	10	25	50	100
Yp	-1,53	-0,87	-0,002	1,5	2,25	3,2	3,9	4,6
(lnXp)	0,74	0,82	0,95	1,19	1,32	1,52	1,68	1,85
σ(lnXp)	0	0	0,04	0,06	0,11	0,08	0,06	0,05

TABLA 10. *Cálculo de la función teórica de distribución regional de los valores mínimos extremos de acuerdo a la III Distribución Límite*

T	1,01	1,10	1,58	5	10	25	50	100
Yp	-1,53	-0,87	-0,002	1,5	2,25	3,2	3,9	4,6
Xp	1,33	1,22	1,10	0,91	0,83	0,73	0,67	0,61
	3,90	3,10	2,15	1,84	2,10	2,60	3,04	3,45
σ(Xp)	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05

TABLA 11. Desviaciones máximas del nivel h (cm). Durante 1972-1989. 1-Casilda. 2-Cabo San Antonio

	Punto	n	nef	h2.33	T	1.01	1.10	1.58	5	10	25	50	100
M		17	16,5	37		27	30	35	44	49	56	62	68
A								1	2	4	3	2	2
X	2	17	17	34		25	28	32	40	45	52	57	63
								1	2	4	3	2	2
M		17	16,5	-37		49	45	41	34	31	27	25	23
						2	2	1	1		2	2	2
N	2	17	17	-32		43	39	35	29	27	23	21	19
						2	2	1	1	1	1	2	2

TABLA 12. Cálculo de los valores de las alturas máximas del nivel sumario del mar.

Estación	Hmax/T	1,01	1,10	1,58	5	10	25	50	100
Casilda	110	137±-	140±-	145±1	154±2	159±4	166±3	172±2	178±2
Cabo San Antonio	44	69±-	72±-	76±1	84±2	89±4	96±3	101±2	107±2

TABLA 13. Cálculo de los valores de las alturas mínimas del nivel sumario del mar

Estación	Hmin/T	1,01	1,10	1,58	5	10	25	50	100
Casilda	100	51±2	55±2	59±1	65±1	68±1	71±2	74±2	76±2
Cabo San Antonio	34	-9±2	-5±2	-1±1	5±1	7±1	11±1	13±2	15±2

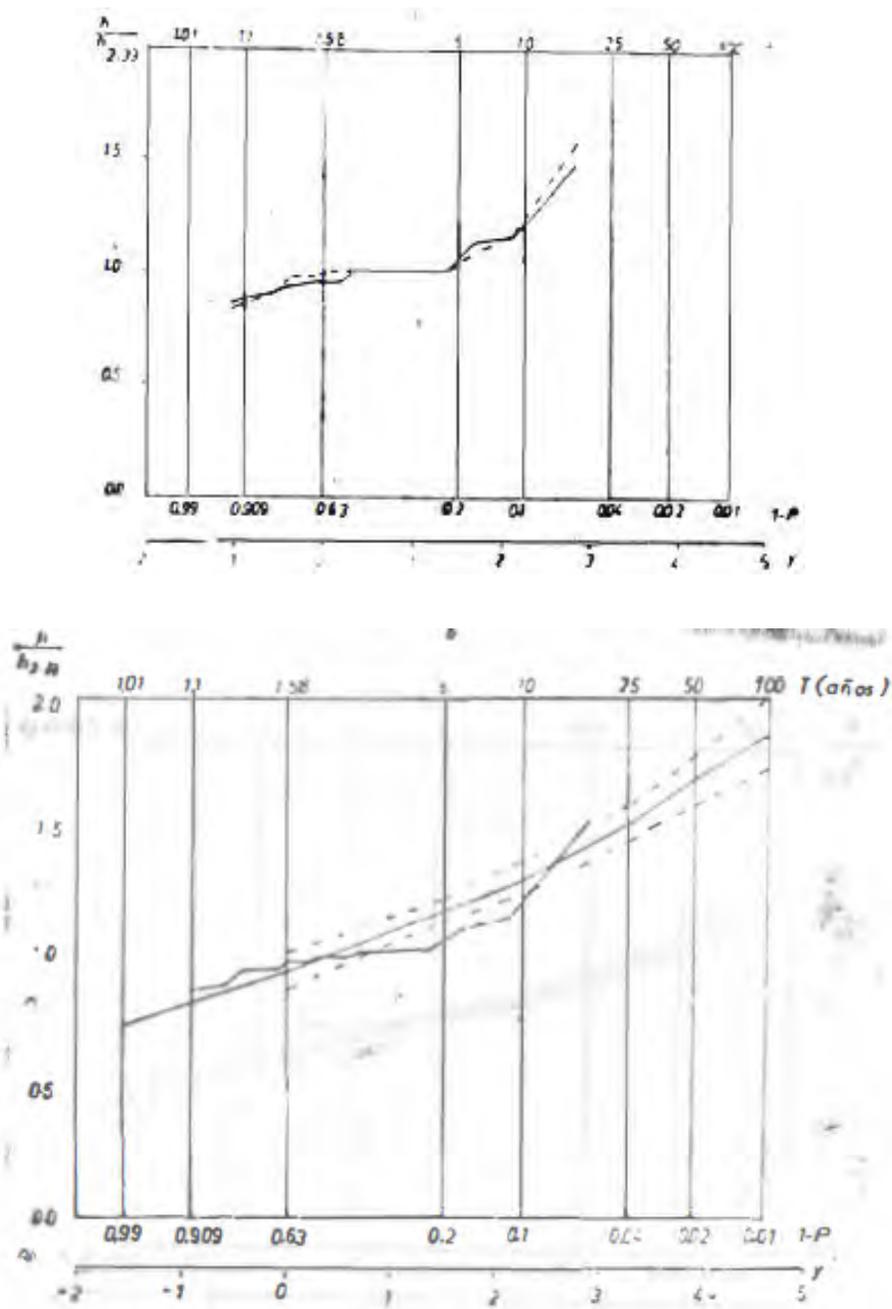


Fig. 7. Niveles máximos extremos.

a, Curvas empíricas de distribución.

----- Cabo San Antonio; ——— Casilda.

b, función teórica de distribución regional de los niveles máximos extremos.

———— función empírica de distribución regional de los niveles máximos extremos.

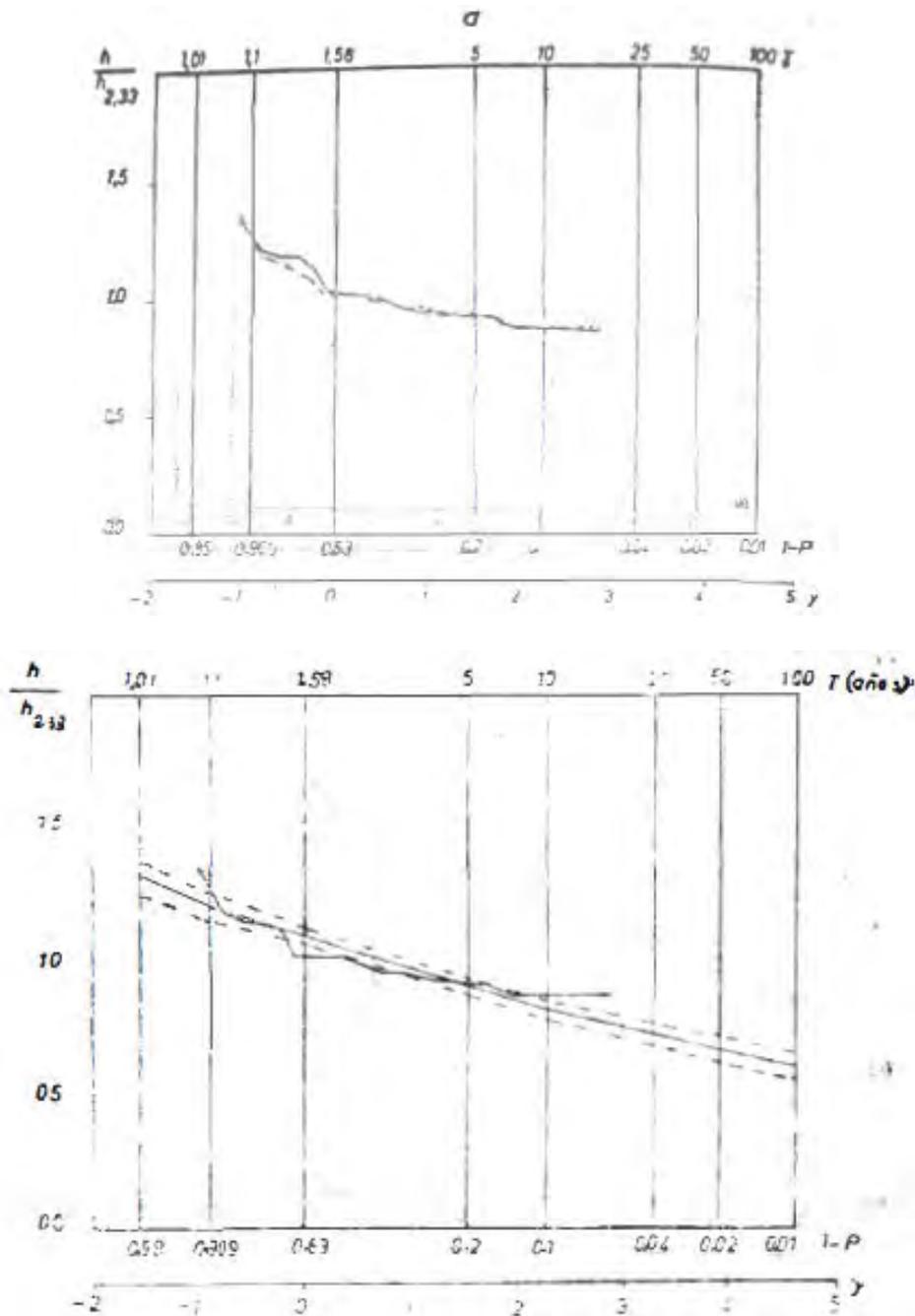


Fig. 8. Niveles mínimos extremos.

a, Curvas empíricas de distribución.

———— Cabo San Antonio; - - - - Casilda.

b, función teórica de distribución regional de los niveles mínimos extremos () y función empírica de distribución regional de los niveles extremos ().

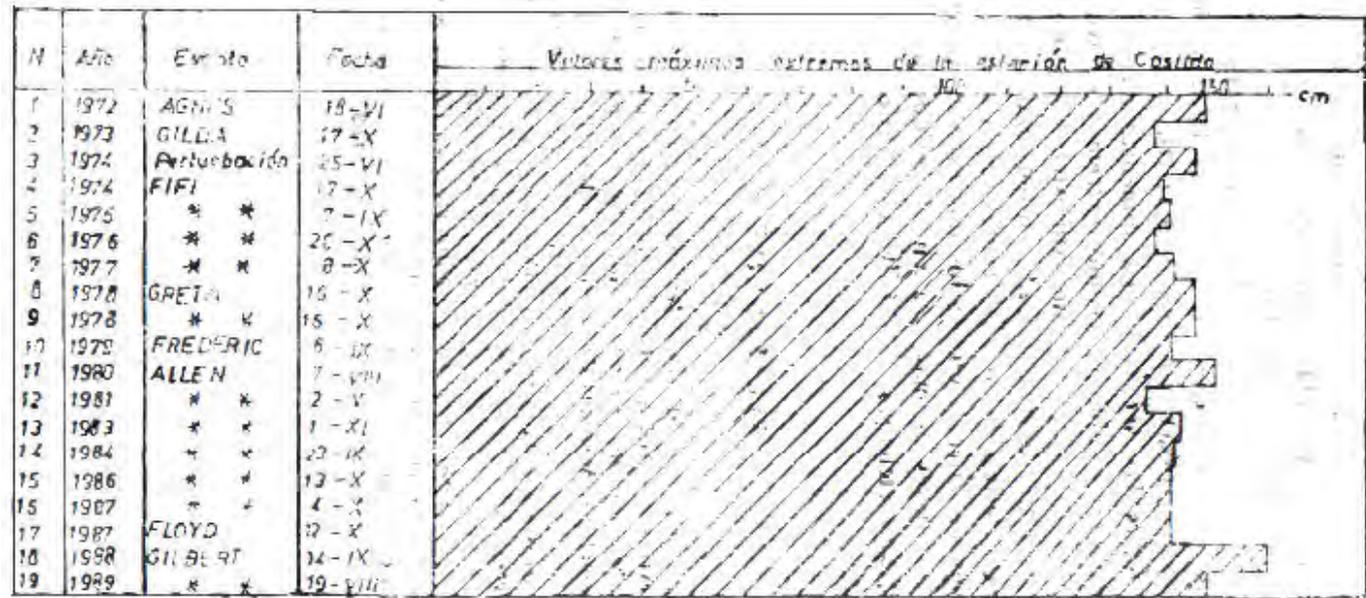


Fig. 9. Eventos atmosféricos que provocaron los niveles extremos del mar en la estación de Casilda durante el período de 1972 a 1989.

** ondas de Este, ondonadas y ondas de bajas presiones.

CONCLUSIONES

La estación de Cabo San Antonio presenta una desviación de 9,0 cm con respecto a Siboney y 10,4 cm con relación a Casilda; creemos que la causa de tal efecto sean problemas en su nivelación.

Se señalaron cuatro picos en la variación media anual (1972, 1975, 1978 y 1983) que por su simultaneidad en todas las series, atribuimos al fenómeno de escala global: (OSEN) "El Niño".

La marcha anual del nivel del mar en Cabo San Antonio y Casilda, refleja la intensificación de los procesos de interacción océano-atmósfera durante los meses de mayor actividad de la temporada ciclónica.

Se comprobó que los valores extremos de las estaciones de Casilda y Cabo San Antonio presentan una baja correspondencia lineal.

Los valores máximos extremos corresponden a la II Distribución Límite y los mínimos a la III.

La inmensa mayoría de los valores máximos extremos estuvo asociada a fenómenos atmosféricos de escala sinóptica de distinta intensidad y los máximos niveles extremos en Casilda estuvieron asociados a los dos eventos sinópticos de mayor fuerza en el período analizado: los huracanes "Gilbert" y "Allen".

REFERENCIAS

- Blázquez, L. (1988): Anomalías del mar en La Habana, Cuba, durante el evento Oscilación del Sur "El Niño" (OSEN) de 1982-1983. *Reporte de Investigación*, Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Díaz Llanes, G. (1990): Las mareas en costa noroccidental de Cuba. En *II Congreso Internacional de Ciencias del Mar*, La Habana, junio.
- Guerman, V. J. y S. P. Levikov (1988): Análisis probabilístico y modelaje de las oscilaciones del nivel del mar [en ruso]. Leningrado, Editorial *Guidrometoizdat*, pp. 56-82.
- Jenkinson, A. F. (1954): The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Meteorological Office*, London, pp. 158-171.
- López, O. y T. J. Rubiera (1988): Temporada Ciclónica. *Mar y Pesca*, La Habana, 277:7-13, octubre.
- Tarakanov, G. G. (1980): *Meteorología Tropical* [en ruso]. Leningrado, Editorial *Guidrometoizdat*.
- Guidrometoizdat* (1973): Manual para el cálculo de los elementos del régimen hidrológico en las zonas costeras y en los deltas de los ríos [en ruso]. Moscú, pp. 10-53.

Ciencias de la Tierra y del Espacio, 23-24, 1994

ANALYSIS OF THE BEHAVIOUR OF THE MEANS AND EXTREMES
VALUES OF THE SEA LEVEL IN THE SOUTH OF CUBA

Libertad RODAS FERNANDEZ
and Marcelino HERNANDEZ GONZALEZ

ABSTRACT. *The work was developed with data of three tidal stations in the South of Cuba, where it was observed a good agreement among the variation of the mean values of the sea level. The linear correlation coefficients between stations in cyclonic seasons proved to be greater than the anual one. The larger peaks in the historic course of the level are repeated in the three stations during the years 1972, 1975, 1978 and 1983. This increase was provoked for the global scale phenomenon "El Niño". Maximums values of the sea level were always observed within the cyclonic season. The teoretical and empirical functions of the regional distribution of maximums and minimums values and its reliable intervals were calculated.*