

## Variación del estado del Mar al paso de las Ondas Tropicales por el Mar Caribe

Marina Sosa Hurtado, Acacia del Sol Hernández  
Instituto de Meteorología  
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente  
La Habana, Cuba

**Abstract:** The Caribbean sea is considered as great maritime traffic zone and one of the seas adjacent to Cuba for which the weather forecast everyday are issued. In summer, the tropical waves cross through this region, bringing the increase in wave. In current paper, the wave height variation during the passage of these weather systems through Caribbean sea was studied. Also the result obtained will be usefull to improve the maritime forecasts' quality.

**Subject headings:** Caribbean sea, tropical waves, weather systems

**Resumen:** El mar Caribe es una zona de gran tráfico marítimo y uno de los mares adyacentes a Cuba para los cuales se confeccionan cada día pronósticos del tiempo. En verano, con frecuencia cruzan por el lugar ondas tropicales que incrementan el oleaje. El presente trabajo investiga la variación de la altura de la ola de estos sistemas por el mar Caribe y sus resultados servirán para mejorar la calidad de los pronósticos marítimos .

**Descriptores:** Mar Caribe, ondas tropicales, sistemas del tiempo

## 1. Introducción

El mar Caribe es una zona de frecuente afectación de ondas tropicales, las cuales se desplazan de Este a Oeste durante los meses de mayo a noviembre, principalmente. El cruce de cada uno de estos organismos por un lugar dado incrementa la intensidad del viento y la altura de la ola, aunque no se conoce cuantitativamente el valor de este incremento.

También en esta zona, cuando se observan nubes de gran desarrollo vertical, se presentan fenómenos severos, entre ellos lluvias intensas y trombas marinas, como ha sido observado por Petersen (1978) para la zona de las Bahamas, Golden (1974a, 1974b, 1977) para los cayos de la Florida y la costa del Golfo de México y por Alfonso (1988) y Sosa (1994) para Cuba. Las altas temperaturas en el mar, que llegan a alcanzar valores cercanos a los  $30^{\circ}\text{C}$  en los meses de verano parece ser una de las causas principales de la ocurrencia de estos fenómenos.

Como el Caribe además es una zona de gran tráfico marítimo y uno de los mares adyacentes a Cuba para los cuales se confeccionan a diario pronósticos del tiempo, se decidió estudiar cómo ocurrían estas variaciones en el estado de la mar ante el paso de las ondas tropicales por la zona.

El viento predominante es este mar tropical durante casi todo el año es de región Este (desde el Nordeste hasta el Sudeste, con la mayor frecuencia en la acción Este) con velocidades entre 12 y 28 km/h (fuerza 3-4, según la escala Beaufort), que llega a alcanzar valores en la parte oriental entre 20 y 38 km/h (fuerza 4-5) durante los meses de mayo, junio y julio (NOAA-1985). Este régimen de viento genera alturas de olas, según la escala Douglas, que van de 0,5 a 1,25 m, con un incremento hasta de 2,5 m en el caso de persistir un número determinado de horas las velocidades del viento entre 29 y 38 km/h (fuerza 5).

Estos vientos del Este responden a la presencia del anticiclón semi-permanente del océano Atlántico, conocido como anticiclón Azores-Bermudas, con una influencia más marcada en estos meses de verano, al ubicarse su región central entre 35 y 40 L.N. Este sistema de alta penetra en forma de cuña sobre el Mar Caribe y llega incluso en el mes de julio a cubrir con sus isobaras hasta la porción Sudeste de Estados Unidos y el golfo de México (Sosa, 1985).

El presente estudio pretende investigar las alteraciones de este régimen normal de viento al paso de las ondas tropicales por el mar Caribe y utilizar sus resultados en mejorar la calidad de los pronósticos marítimos sobre la zona.

## **2. Materiales y Métodos**

Se estudiaron todas aquellas ondas tropicales que cruzaron el mar Caribe desde 1985 hasta 1989. La zona de estudio fue dividida en dos partes, nombrándose Caribe oriental a la situada al Este del meridiano 75° L.W. y Caribe occidental a la situada al Oeste del meridiano (Fig. 1). Para la selección de la muestra se revisaron los mapas de superficie y de aire superior correspondientes a esos mismos años. Los datos de la altura de la ola se obtuvieron a través de los reportes de los barcos que cruzaron la zona y que son ploteados en los mapas hidrometeorológicos marinos que confeccionan en el Departamento de Meteorología Marina.

Para determinar el incremento de esa altura en presencia de esta situación sinóptica, los valores de la altura de la ola fueron tomados en dos tiempos diferentes: antes que la zona estuviera bajo la influencia de la onda ( $t_1$ ) y cuando la onda estaba afectando al lugar ( $t_2$ ), considerándose una variación o intervalo de la altura de la ola en cada tiempo, con un valor mínimo y uno máximo, según los datos observados en el área. Los datos de frecuencia acumulada fueron determinados con intervalos de 0,5 m. Se consultaron las imágenes de los satélites meteorológicos de las fechas seleccionadas, para relacionar el incremento del oleaje con la estructura y el tipo de nubosidad que tena la onda asociada.

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas MICROSTAT y SC3, utilizando una microcomputadora personal instalada en la Facultad de Geografía de la Universidad de la Habana.

## **3. Resultados**

Al estudiar el comportamiento del oleaje al paso de las ondas tropicales sobre el mar Caribe se pudo encontrar diferencias entre la mitad oriental y la mitad occidental.

Primeramente, la parte oriental está ms afectada por estos sistemas tropicales que la parte occidental. En la primera pudieron estudiarse un total de 94 ondas, para un promedio de 19 por temporada. En la occidental, el número de ondas que pudo ser detectado fue de 52 para un promedio de diez en cada temporada. Esta disminución hacia el Occidente del mar Caribe se debe sobre todo, a que algunas de las que penetraron procedente del océano Atlántico o que se formaron sobre el lugar, se intensificaron alcanzando alguna de las categorías de ciclón tropical, mientras que otras se debilitaron y no fue posible identificarlas, ni en los mapas del tiempo, ni en las imágenes de los satélites meteorológicos.

La distribución media mensual de estas ondas se presentan en las Fig. 2 y 3. En ellas se observa que para la parte oriental, el mes de mayor frecuencia es agosto con siete casos, lo que equivale a decir que es posible esperar el cruce de una onda tropical en este mes cada cuatro días. En el Caribe occidental es el mes de julio el de mayor frecuencia con una onda como promedio en cada semana. Estas frecuencias se hacen mínimas al inicio y al fin de cada temporada.

En lo referente a los valores encontrados en ambas muestras de datos, se pudo observar que siempre que una onda llegaba al lugar se producía un incremento en la altura de la ola. Este incremento frecuentemente oscilaba entre 0,5 y 1,0 m en la parte occidental y entre 1,0 y 1,5 m en la oriental,

aunque se hallaron casos en que el paso de la onda incrementó el oleaje hasta 2,0 m por encima del nivel que ella tenía antes de la afectación del sistema, en ambas muestras de datos.

Un resumen de los estadígrafos más importantes se presentan en la Tabla 1. Como se ve, en ninguno de los casos analizados se reportaron alturas superiores a los cuatro metros cuando se hallaba bajo la influencia del sistema.

En ambas zonas estudiadas, la altura mínima de la ola antes del cruce de la onda mostró su mayor frecuencia entre 1,0 y 1,5 m y la altura máxima osciló entre 2,0 y 2,5 m. Cuando ya la onda estaba influyendo sobre el lugar, se incrementó el oleaje y la variación más frecuente fue entre 2,0 y 2,5 m, aunque valores de 3,0 a 3,5 m hallados en 30 ocasiones sobre el Caribe oriental le siguieron en importancia. Las mayores alturas se registraron en el mes de julio para ambas muestras de datos, donde los valores medios para este mes superaron los de toda la muestra en el orden de 0,2 a 0,4 m. En la Tabla 2 aparecen la altura promedio en los meses de mayor frecuencia y la del total de casos estudiados en el presente trabajo.

Al analizar los gráficos de frecuencia acumulada se encontró que cerca del 80% de los casos presentó un mínimo en la altura de la ola antes de la afectación del sistema de 1,0 a 1,5 m sobre el Caribe occidental (Fig. 4) y que durante la afectación de la onda el 85% de los casos tenía como mínimo el valor de 2,0 a 2,5 m. Las máximas alturas registradas en esta muestra de datos agrupaban un 85% de los casos con valores que oscilaron entre 2,0 y 2,5 m y hasta un 90% entre 3,0 y 3,5 m después de llegar el sistema a esa zona (Fig. 5).

En el Caribe oriental sucede algo similar pero las alturas siempre fueron superiores a la occidental (Fig. 6 y 7). Se obtuvo la matriz de correlación entre las cuatro variables en cada una de las regiones y ellas resultaron estar altamente correlacionadas entre sí, al aplicársele la prueba t de Student, con un nivel de confianza del 95%.

En las imágenes del satélite se observó que aquellas ondas que mostraban una representación nubosa bien organizada, incluso, algunas de ellas con tendencia a la circulación de sus nubes, y poseían núcleos fuertes de cumulonimbos en su seno, eran las que producían mayores alturas de ola, con diferencias hasta de 2,0 m entre el tiempo  $t_1$  y el tiempo  $t_2$ . Por el contrario, el incremento del oleaje era muy pequeño, y en ocasiones no sobrepasaba de 0,5 m, cuando la onda presentaba sus nublados mal organizados y la presencia de cumulonimbos era escasa. No obstante, fue frecuente observar oleaje superior sobre el Caribe oriental, lo que se supone está relacionado con fuertes gradientes de presión que en esta época del año se presentan sobre el Atlántico occidental y el cual penetra en muchas ocasiones hasta esa zona.

Es de suponer además, que estas ondas activas, las cuales incrementan de forma más marcada el oleaje de la zona, son las que tienen más alta la probabilidad de severidad, incluidas las trombas marinas. De esta forma, aquellos que a diario confeccionan pronósticos para la navegación marítima deberán tener en cuenta no sólo la presencia de la onda sobre el lugar, sino la estructura nubosa que acompaña a las mismas y muy en especial, la presencia de nubes tormenta capaces de producir severidad.

#### **4. Conclusiones**

En los cinco años estudiados, se pudo encontrar que la mayor frecuencia de afectación de ondas tropicales al mar Caribe es la parte oriental, con un promedio de 19 por temporadas. En el Caribe occidental, el número de ondas que cruzó fue inferior para un promedio de diez cada año. Los meses de mayor frecuencia fueron agosto para la parte oriental, con el cruce de una onda cada cuatro días y julio para la occidental donde es posible encontrar una onda cada semana.

El oleaje se incrementó siempre al paso de las ondas, siendo más marcado este incremento en el Caribe oriental. Las mayores alturas, se registraron en el mes de julio para ambas zonas. En la mayoría de los casos las alturas mínimas y máximas incrementaron los valores de la frecuencia acumulada del tiempo  $t_1$  al tiempo  $t_2$  hasta 1,0 m sobre el Caribe occidental y hasta 1,5 m en el Caribe oriental. Las ondas activas, con buena representación nubosa y abundantes cumulonimbos en su seno, incrementan de forma más marcada el oleaje de la zona y son las que tienen más alta la probabilidad de severidad, incluidas las trombas marinas y deben ser seguidas con atención por la importancia que tienen para la navegación marítima este tipo de sistema tropical.

Los resultados hallados en el presente trabajo pueden servir de gran ayuda a los meteorólogos encargados de realizar pronósticos marítimos sobre la zona a la par que aumentan nuestros conocimientos acerca de estos importantes sistemas tropicales

#### **5. Agradecimientos**

Deseamos manifestar nuestro reconocimiento a los técnicos Nidia Rodríguez Fuentes y Manuel Gutiérrez Santiago por las extracción y procesamiento de los datos básicos del trabajo y en la búsqueda de las imágenes de los satélites meteorológicos.

#### **6. Referencias Bibliográficas**

- [1] Alfonso, A (1988): Climatología de las tormentas severas de Cuba y fundamentos para su pronóstico. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, Matanzas, 174 pag.
- [2] Golden, J.H. (1974a): The life cycle of Florida Keys waterspouts I., *J. Appl. Met.* 13 (6): 676-692.
- [3] Golden, J.H. (1974b): Scale-Interaction for the waterspout life cycle II., *J. Appl. Met.* 13 (6): 693-709.
- [4] Golden, J.H. (1977): An assessment of waterspout frequencies along the U.S. East Gulf Coasts. *J. Appl. Met.* 16 (3): 231-236.
- [5] NOAA (1985): Pilot chart of the north Atlantic ocean. Defense Mapping Agency, U.S.A.
- [6] Peterson, R.E. (1978): Waterspout statistics of Nassau, Bahamas. *J. Appl. Met.* 17(4):444-448.

- [7] Sosa, M. (1985) Guía preliminar para los pronósticos del tiempo. Instituto de Meteorología, 200 pag.
- [8] Sosa, M. (1995): Climatología y pronóstico de las ondas tropicales en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Meteorológicas, La Habana, 109 pag.

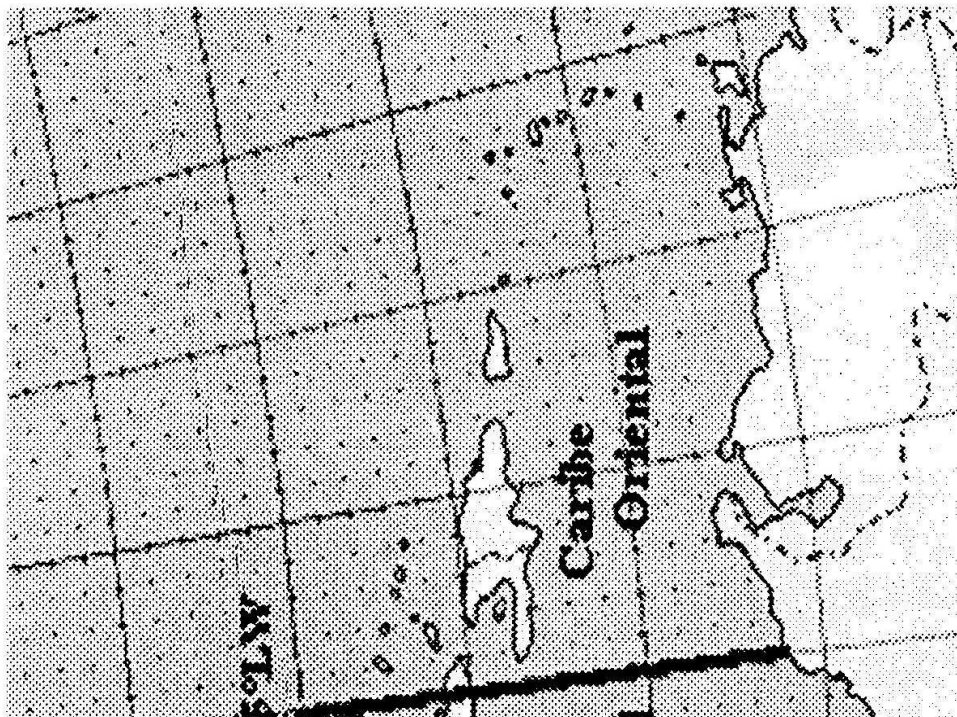
Tabla 1: Estadística descriptiva de las variables analizadas

Variable	Altura min. en t1		Altura max. en t1		Altura min. en t2		Altura max. en t2	
	C.Occ.	C.Ort.	C.Occ	.Ort	C.Occ.	C.Ort.	C.Occ	C.Ort.
Estadís.								
media	1.2	1.3	1.7	1.9	1.9	2.1	2.4	2.7
desv.est.	0.41	0.50	0.65	0.52	0.67	0.53	0.74	0.65
mínimo	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0
máximo	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0
coef.var.	35.9	38.2	37.9	28.1	35.6	25.1	30.4	25.5
num.casos	52	94	52	94	52	94	52	94

Tabla 2: Alturas medias registradas en los meses de mayor frecuencia de efectación de ondas al Caribe y en la muestra total de casos

Variable	Altura min.		Altura max.		Altura min.		Altura max.	
	C.Occ	C.Ort.	C.Occ	.Ort	C.Occ.	C.Ort.	C.Occ	C.Ort.
mes								
julio	1.3	1.6	1.9	2.1	2.1	2.4	2.8	2.8
agosto	1.1	1.3	1.7	1.9	1.7	2.1	2.3	2.3
setiembre	1.1	1.3	1.8	1.6	1.7	2.1	2.3	2.3
Total	1.2	1.3	1.7	1.9	1.9	2.1	2.4	2.6





**Mar Caribe para este estudio.**



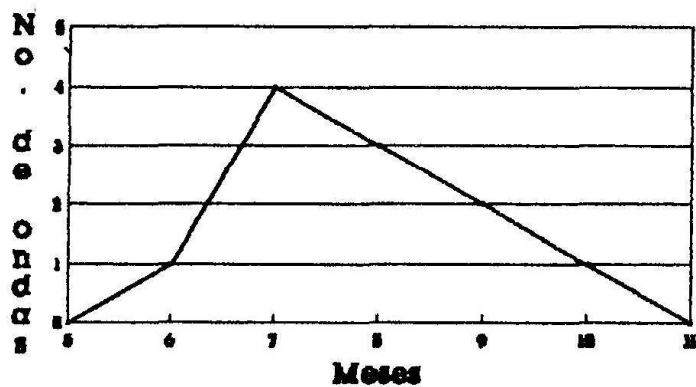


Fig. 2 Distribución media en C. Occidental

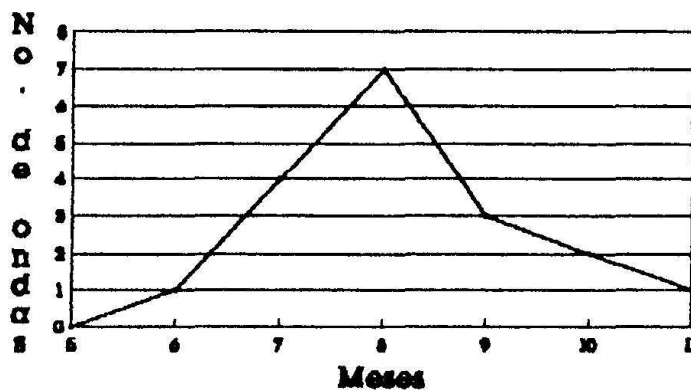


Fig. 3 Distribución media en C. Oriental

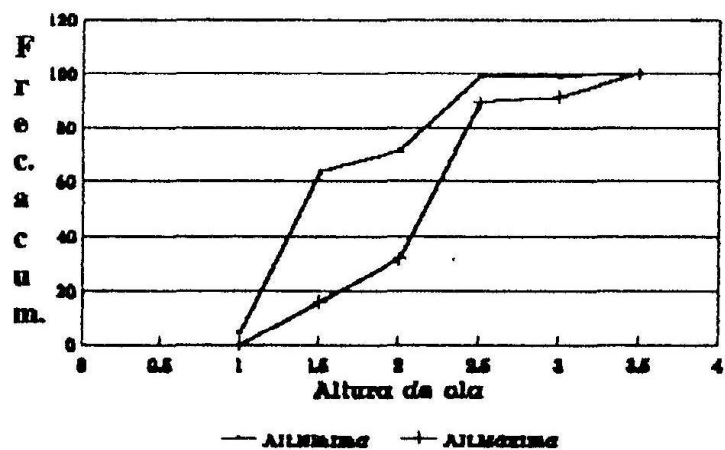


Fig. 4 Altura mínima y máxima en t1 en C. Occidental

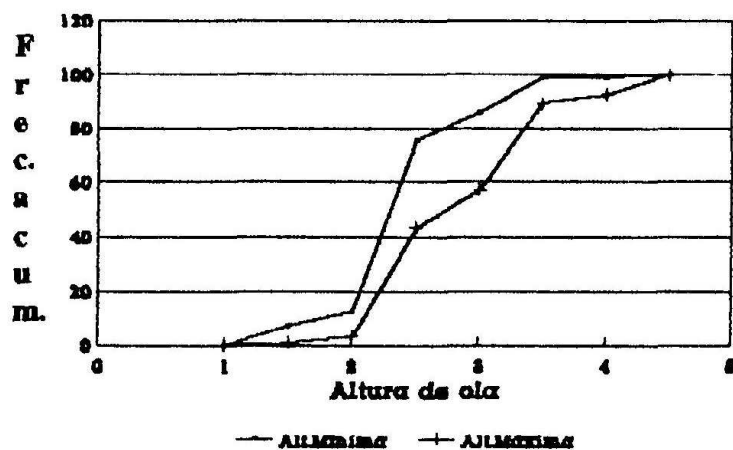


Fig. 5 Altura mínima y máxima en t2 en C. Occidental

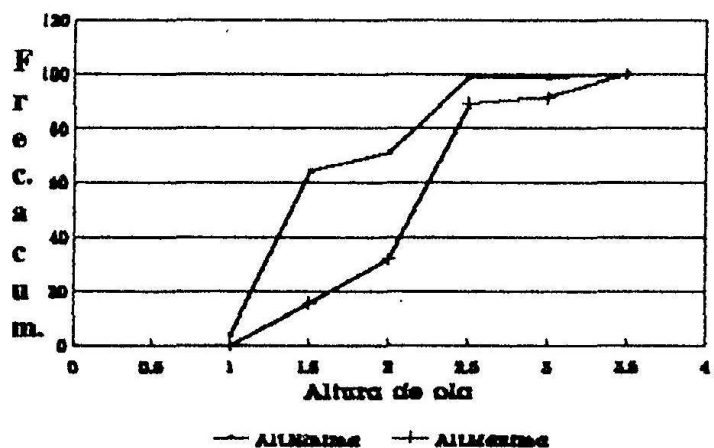


Fig. 6 Altura mínima y máxima en t1 en C. Oriental

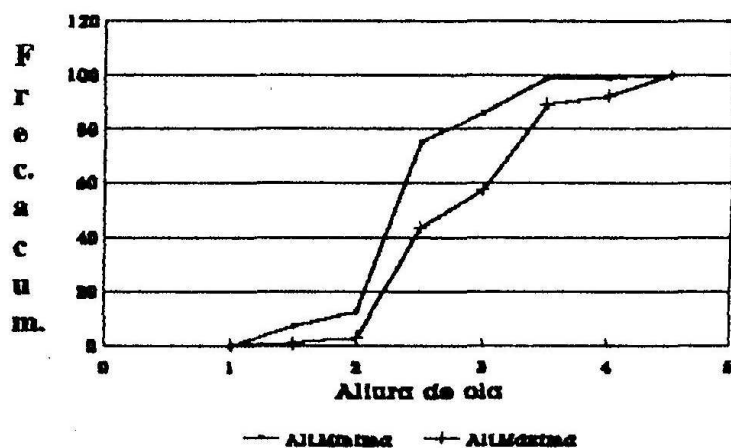


Fig. 7 Altura mínima y máxima en t2 en C. Oriental