



## Variación del estado del mar al paso de las ondas tropicales por el mar Caribe

Marina Sosa Hurtado y Acacia del Sol Hernández

*Instituto de Meteorología (CITMA), Cuba. (ac\_sol@yahoo.com)*

(Recibido: 6-Feb-2002. Publicado: 11-Feb-2002)

### Resumen

El mar Caribe está frecuentemente afectado por ondas tropicales desde mayo hasta noviembre. Estos sistemas siempre incrementan el viento y el oleaje. En el presente trabajo fueron estudiadas cinco temporadas de ondas en esa zona geográfica. Se observó que estos sistemas incrementan a su paso el oleaje en 1,5 m. Cuando el patrón nuboso estaba mejor organizado este incremento fue superior.

**Palabras clave:** Ondas tropicales, altura de olas, mar Caribe.

### 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 una de estas ondas por un lugar incrementa la intensidad del viento y la altura de la ola, aunque no se conoce cuantitativamente el valor de ese incremento.

También, en el seno de las ondas tropicales, cuando se observan nubes de gran desarrollo vertical se presentan fenómenos severos y lluvias intensas. Entre los fenómenos severos se encuentran las trombas marinas, como las observadas por Peterson (1978) para la zona de las Bahamas, Golden (1974 a, 1974 b, 1977) para los cayos de la Florida y la costa del Golfo de México, y por Alfonso (1988) y Sosa (1995) para Cuba. Las altas temperaturas en el mar, que llegan a alcanzar valores cercanos a los 30°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 en este mar tropical, durante casi todo el año, es de región Este (desde el Nordeste hasta el Sudeste, con la mayor frecuencia en la dirección Este) con velocidades entre 12 y 28 km/h (Fuerza 3-4, según la escala Beaufort), el cual 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 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 (conocidos como Alisios) 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 las latitudes 35 y 40°N. Este sistema anticiclónico 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 para 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  $75^{\circ}\text{W}$  y *Caribe occidental* a la situada al oeste del mencionado meridiano. 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 asentados en los mapas hidrometeorológicos marinos que se confeccionan en el Departamento de Meteorología Marina del Instituto de Meteorología (CITMA).

Para determinar el incremento de esa altura en presencia de esta situación meteorológica, los valores de la altura de la ola fueron tomados en dos tiempos diferentes: antes de que la zona estuviera bajo la influencia del sistema ( $t_1$ ) y cuando la onda estaba afectando al lugar ( $t_2$ ), considerándose un rango para esta altura de la ola 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 tenía la onda asociada.

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas MICROSTAT y SC4, utilizando una microcomputadora personal.

## 3. Resultados

Al estudiar el comportamiento del oleaje al paso de las ondas tropicales sobre el mar Caribe, se encontraron diferencias entre la mitad oriental y la occidental. Primeramente, la parte oriental estuvo más afectada por estos sistemas que la occidental. En la primera pudieron estudiarse un total de 94 ondas, con un promedio de 19 por temporada; en la occidental, el número de ondas que cruzó la zona fue de 52, con un promedio de 10 en cada temporada.

Esta disminución hacia el occidente del mar Caribe se debe, sobre todo, a que algunas de las que penetraron procedentes del océano Atlántico, o que se formaron en 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.

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

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 iba de 0,5 a 1,0 m en la parte occidental y de 1,0 a 1,5 m en la oriental, por regla general, aunque se hallaron casos en que el paso de una onda incrementó el oleaje hasta 2,0 m por encima del nivel que tenía antes de la afectación del sistema, en ambas muestras de datos. Un resumen de los parámetros estadísticos más importantes aparecen en la Tabla 1.

Como se observa, en ninguno de los casos analizados se reportaron alturas superiores a los 4 metros cuando la zona se hallaba bajo la influencia de la onda.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables analizadas.

Parámetro	Alturas en $t_1$ (m)				Alturas en $t_2$ (m)			
	Mínima		Máxima		Mínima		Máxima	
	C. occ.	C. ort.	C. occ.	C. ort.	C. occ.	C. ort.	C. occ.	C. ort.
Media	1,2	1,3	1,7	1,9	1,9	2,1	2,4	2,6
Desv. estándar	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. de variación	35,9	38,2	37,9	28,1	35,6	25,1	30,4	25,5
Nº de casos	52	94	52	94	52	94	52	94

En ambas zonas estudiadas, la altura mínima de la ola antes del cruce de la onda mostró su mayor frecuencia en el rango de 1,0 a 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 el rango más frecuente fue entre 2,0 y 2,5 m, aunque el rango de 3,0 a 3,5 m hallado en 30 ocasiones sobre el Caribe oriental le siguió 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 los casos estudiados en el presente trabajo.

Tabla 2. Alturas medias registradas en los meses de mayor frecuencia de afectación de ondas al mar Caribe y en la muestra total de casos.

Período	Alturas en $t_1$ (m)				Alturas en $t_2$ (m)			
	Mínima		Máxima		Mínima		Máxima	
	C. occ.	C. ort.	C. occ.	C. ort.	C. occ.	C. ort.	C. occ.	C. ort.
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	2,2	2,7
Septiembre	1,1	1,3	1,8	1,6	1,7	2,1	2,3	2,3
Total de casos	1,2	1,3	1,7	1,9	1,9	2,1	2,4	2,6

Al analizar los gráficos de frecuencia acumulada (no mostrados) 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, 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 en el rango de 2,0 a 2,5 m antes y hasta un 90 % de 3,0 a 3,5 m después de llegar el sistema a esa zona.

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

En las imágenes de los satélites meteorológicos se observó que aquellas ondas que mostraban una representación nubosa bien organizada, incluso alguna 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 la 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.

En general, fue frecuente observar un oleaje superior en la parte oriental del Caribe, lo que se supone está relacionado con los fuertes gradientes de presión que en esta época del año se presentan sobre el Atlántico occidental, y que penetran en muchas ocasiones hasta esa zona. Es de suponer que las ondas más activas, que incrementan de forma más marcada el oleaje, son las que tienen más alta la probabilidad de ocurrencia de fenómenos severos, incluidas las trombas marinas, y deben ser seguidas con atención por el peligro que representan para la navegación marítima de la zona.

#### 4. Conclusiones

En los cinco años estudiados, se pudo encontrar que durante el período de mayor afectación de ondas tropicales al mar Caribe, es la parte oriental la de mayor frecuencia de afectación, con un promedio de 19 por temporada. En el Caribe occidental el número de ondas que cruzó fue inferior, con un promedio de 10 por 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 hasta 1,0 m del tiempo  $t_1$  al tiempo  $t_2$  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 el peligro que representan para la navegación marítima.

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 nuestro conocimiento acerca de estos importantes sistemas tropicales.

#### Bibliografía

Alfonso A, 1988: *Climatología de las tormentas severas de Cuba y fundamentos para su pronóstico*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas. Matanzas, 174 pág.

Golden JH, 1974a: The life cycle of Florida Key's waterspouts. *J. Appl. Met.*, 13:676-692.

Golden JH, 1974b: Scale-interaction for the waterspout life cycle II. *J. Appl. Met.*, 13:693-709.

Golden JH, 1977: An assessment of waterspout frequencies along the U.S. East Gulf Coasts. *J. Appl. Met.*, 16:231-236.

NOAA, 1985: *Pilot chart of the north Atlantic ocean*. Defense Mapping Agency, U.S.A.

Peterson RE, 1978: Waterspout statistics of Nassau, Bahamas. *J. Appl. Met.*, 17:444-448.

Sosa M, 1985: *Guía preliminar para los pronósticos del tiempo*. UDICT Instituto de Meteorología, 200 pág.

Sosa M, 1995: *Climatología y pronósticos de las ondas tropicales en Cuba*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Meteorológicas, Ciudad de La Habana, 109 pág.