

Relación entre la estructura térmica vertical de las aguas cubanas y la actividad de los ciclones tropicales

Relationship between the thermal vertical structure of Cuban waters and tropical cyclone activity

Ida Mitrani-Arenal*
Oscar Onoe Díaz-Rodríguez

Instituto de Meteorología (INSMET)
Apartado 01732
Loma de Casablanca, Regla
La Habana, Cuba, CP: 11700
* E-mail: imitrani@met.inf.cu

Recibido en marzo de 2003; aceptado en febrero de 2004

Resumen

Se presenta un estudio de la estructura térmica vertical y la variabilidad espaciotemporal de la capa superficial oceánica en aguas cubanas, utilizando datos de 37 expediciones oceanográficas realizadas de 1966 a 1993. Se determinaron el espesor de la capa isotérmica y la profundidad de la isoterma de 26°C. Se analizó el posible enlace entre las características térmicas de la capa superficial oceánica y el comportamiento de los ciclones tropicales. Se tuvo en cuenta la presencia de la Oscilación del Sur El Niño (ENOS). Se concluye que las características térmicas de las aguas cubanas siempre son favorables al desarrollo de los ciclones tropicales, independientemente de la presencia de ENOS.

Palabras clave: capa isotérmica, ciclones tropicales, aguas cubanas.

Abstract

A study of the oceanic surface layer is presented, taking into account its vertical thermal structure and time-space variability. Oceanographic data from 37 cruises were used. The thickness of the isothermal layer and depth of the 26°C isotherm were determined. The possible connection between the thermal characteristics of the sea surface layer and tropical cyclone activity was analyzed. The presence of ENSO was considered. We show that the thermal characteristics of Cuban waters are always favorable for tropical cyclone development.

Key words: thermal structure, tropical cyclones, Cuban waters.

Introducción

De las propiedades de las aguas oceánicas, la que más se suele relacionar de modo directo con el desarrollo de los ciclones tropicales es su estructura térmica. Por tal motivo, en el presente texto se presenta un estudio de la estructura térmica vertical en aguas cubanas y su variabilidad espaciotemporal, utilizando datos de 37 expediciones oceanográficas realizadas de 1966 a 1993, incluyendo además un análisis de su posible relación con la actividad ciclónica en el área.

Existen algunos estudios integrales de los mares circundantes a Cuba, elaborados con datos de expediciones oceanográficas, en los cuales se incluye la estructura térmica vertical de sus aguas. Entre los más importantes están los realizados por especialistas del Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP) de Cuba (García, 1981a, 1981b, 1996; Siam y García, 1981), los ejecutados en el marco de colaboración cubano-soviética en 1979 y 1981 con la participación de especialistas del Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba (Moreno *et al.*, 1985; Mitrani *et al.*, 1985) y los de la colaboración cubano-mexicana

Introduction

Among the properties of oceanic waters, the one that tends to be most closely related to the development of tropical cyclones is the thermal structure. In this paper, we study the vertical thermal structure of Cuban waters, including its time-space variability and its possible connection with tropical cyclone activity.

Previous integral studies about Cuban water properties included analyses of the vertical thermal structure. The most important results were obtained by researchers from the Cuban Fisheries Research Center (CIP) (García, 1981a, 1981b, 1996; Siam and García, 1981); from the Institute of Meteorology (INSMET), in collaboration with Russian colleagues from 1979 to 1981 (Moreno *et al.*, 1985; Mitrani *et al.*, 1985); and from the Cuban Institute of Oceanology (IDO), in collaboration with Mexican colleagues, from 1989 to 1997 (Victoria *et al.*, 1990; Gallegos *et al.*, 1996; Gallegos *et al.*, 1998a; Gallegos *et al.*, 1998b). All these studies, however, used data from less than ten research cruises, so their results offer a

entre 1989 y 1990 con especialistas del Instituto de Oceanología (IDO) de Cuba y de la Universidad Nacional Autónoma de México (Victoria *et al.*, 1990; Gallegos *et al.*, 1996; Gallegos *et al.*, 1998a; Gallegos *et al.*, 1998b). Todos estos trabajos se realizaron con datos de menos de diez cruceros, lo que limita la visión temporal que se pudiera tener del tema tratado. Existe además un trabajo de Mitrani (2000), donde se presenta una caracterización general de la capa superficial oceánica en las aguas que circundan a Cuba, pero sin diferenciación por zonas. La inclusión de datos de 37 expediciones en la presente investigación permitió abordar el problema de una manera más completa, destacando además las particularidades de cada zona geográfica.

Datos y metodología utilizados

El área de estudio se localiza entre 87°W y 73°W y entre 25°N y 18°N , y fue dividida en zonas atendiendo a batimetría, configuración costera y circulación en la superficie de las aguas oceánicas alrededor de Cuba (fig. 1).

Se recopilaron los datos hidrometeorológicos procedentes de 36 cruceros realizados en los mares circundantes a Cuba de 1966 a 1993, procesados por especialistas del CIP, del IDO, del INSMET y ocasionalmente con la colaboración de especialistas de la entonces Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), a distancias de hasta 200 km de la línea de costa. Se incluyen también los resultados de la expedición Yuca II, a bordo del buque mexicano *Justo Sierra*, para un total de 37 expediciones con 1846 estaciones y un volumen de 27,361 observaciones en las profundidades estándar: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 y 1200 m.

Para definir el espesor de la capa isotérmica se utilizó el criterio de Levitus (1982), aplicado en su Atlas Climatológico del Océano Mundial, donde se toma como frontera inferior de ésta a la profundidad donde la temperatura del agua es 0.5°C menor que la de la superficie.

Como frontera inferior convencional de la capa donde con mayor intensidad se manifiesta la interacción océano-atmósfera, se tomó el nivel más somero a partir del cual la temperatura del agua permanece constante durante todo el año, independientemente de las oscilaciones superficiales de los procesos meteorológicos. En este caso se aplicó el concepto de capa activa oceánica, definida como el estrato que interactúa intensamente con la atmósfera que aparece en Doronin (1980) y que ya fue utilizado por Mitrani *et al.* (1985) en el análisis de los datos obtenidos para un polígono al sur de la Isla de la Juventud durante el periodo de trabajo de la expedición cubano-soviética de 1981, así como también por Mitrani (2000). También se localizó la profundidad de la isoterma de 26°C que, según diversos autores (Fisher, 1957; Gray, 1979, 1993; Shuleikyn, 1978; Khain y Sutyrin, 1983; WMO, 1995), es la temperatura mínima propicia para la formación y desarrollo de los ciclones tropicales.

limited vision on the topic under study. A general characterization of the oceanic surface layer in Cuban waters was also made by Mitrani (2000), but without differentiation by zones. In the current investigation, data from 37 cruises were used, which allowed us to approach the problem in a more complete way, considering the peculiarities of each geographical zone.

Data and methodology

The study area is located between $87^{\circ}73'$ W and $25^{\circ}18'$ N. It was divided into ten zones (fig. 1), considering the local bathymetry, coastal configuration and water circulation. The hydrometeorological data were obtained during 36 CIP, IDO and INSMET cruises that were conducted from 1966 to 1993, at distances of up to 200 km off the coast of Cuba. Also included are the data from the Yuca II campaign, aboard the Mexican R/V *Justo Sierra*, for a total of 37 cruises, with 1846 stations and a volume of 27,361 observations at standard depths of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 and 1200 m.

The lower boundary of the isothermal surface layer was defined as the depth where the water temperature is 0.5°C lower than at the surface, according to the criterion applied by Levitus (1982) in the Climatological Atlas of the World Ocean.

The concept of active oceanic layer was applied, defined as the layer where the air-sea interaction reaches its maximum intensity and its lower boundary is located at the deeper level where the water temperature is nearly constant during the whole year (Doronin, 1980). This concept has been used by Mitrani *et al.* (1985), in the analysis of data obtained for a polygon to the south of Juventud Island (Isle of Pines) during the Cuban-Soviet 1981 cruise, and by Mitrani (2000).

The depth of the 26°C isotherm was also determined, considering that it is the suitable temperature for the formation and development of tropical hurricanes (Fisher, 1957; Gray, 1979, 1993; Shuleikyn, 1978; Khain and Sutyrin, 1983; WMO, 1995).

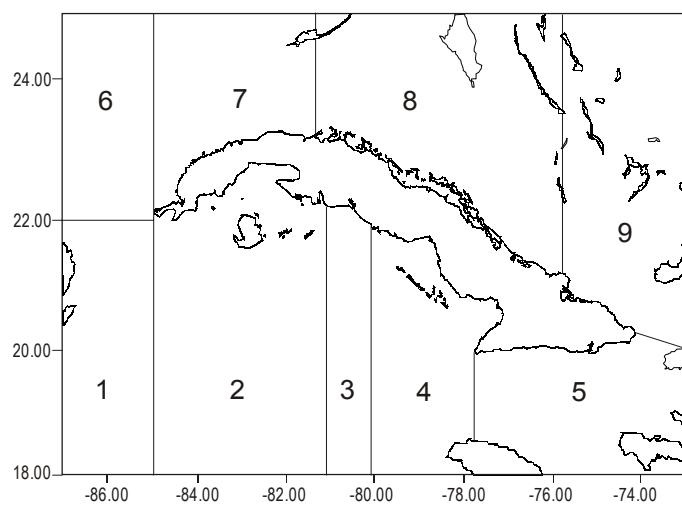


Figura 1. Área de estudio y división por zonas.
Figure 1. Study area, divided into zones.

Estructura térmica vertical y actividad ciclónica

Entre las condiciones necesarias para la formación y desarrollo de los ciclones tropicales, también se incluye la premisa de que la capa isotérmica debe presentar una cierta profundidad mínima (Fisher, 1957; Gray, 1979; Shuleikyn, 1979; Khain y Sutiryn, 1983; Gray, 1993; WMO, 1995). No existe un criterio único para definir esta profundidad mínima. Por ejemplo, Perlroth (1967) señaló que si en los primeros 60 m de profundidad de las aguas oceánicas la variación de la temperatura es de más de 8.5°C, la probabilidad de que el ciclón tropical alcance la fase de huracán es de apenas un 4%. Por otra parte, se tiene el criterio de Holliday and Thompson, (1979, referido en WMO, 1995) de que 75% de los huracanes, con presiones atmosféricas mínimas de de 920 hPa o menos, pueden tener una intensificación muy rápida (más de 42 hPa en menos de 24 h) cuando la temperatura superficial oceánica (TSO) es mayor que 28°C y el espesor de la capa isotérmica es de más de 30 m. Además, Shuleikyn (1978) señala que en las costas africanas tropicales jamás se desarrollan ciclones tropicales aunque la TSO sea muy alta, porque la capa isotérmica superficial no alcanza más de 30 m de profundidad. Sin embargo, Evans (1993, referido en WMO, 1995) no menciona la importancia del espesor de la capa isotérmica para que un ciclón tropical se convierta en un huracán de gran intensidad (con vientos de más de 70 m/s, categorías 4–5 según la escala Saffir-Simpson, definida por Simpson, 1974), pero resalta como una condición imprescindible que la temperatura de la capa superficial sea mayor o igual a 28°C. Del análisis de los datos utilizados en el presente trabajo se aprecia que las características térmicas de los mares alrededor de Cuba corresponden a todos estos criterios, estimulando en gran medida al desarrollo de los ciclones tropicales.

Es importante conocer la profundidad que alcanza la influencia de los procesos de interacción océano-atmósfera en las aguas oceánicas, debido a que ello favorece al aumento del espesor que ocupan las aguas cálidas superficiales. Estudios realizados por especialistas del CIP han mostrado que la mayoría de las especies comerciales que se pescan en aguas cubanas se localizan en los primeros 200 m de profundidad (García 1981a, 1981b). Por otra parte, en análisis de distribución vertical de las masas de agua, tanto en los mares intramericanos (Gallegos *et al.*, 1998; Moores y Maul, 1998) como en las aguas circundantes al territorio cubano (Mitrani y Díaz, 2002), es decir, en la Zona Económica Exclusiva de Cuba, se aprecia que las aguas del estrato superficial tienen un espesor medio de 250 m. Por último, aplicando el concepto de espesor de la capa activa, se nota que en las profundidades de 250 a 300 m la temperatura del agua se mantiene constante alrededor de 17°C prácticamente durante todo el año. De lo antes expuesto, se acepta que los tres criterios apuntan hacia un espesor medio de la capa activa de 250 m.

La capa isotérmica presenta un espesor medio de varias decenas de metros prácticamente todo el año, mientras que las temperaturas de las aguas superficiales se mantienen iguales o

Thermal vertical structure and tropical cyclone activity

Included among the necessary conditions for tropical cyclone formation and development are that the surface temperature should be greater than 26°C and that the isothermal layer must present a certain minimum depth (Fisher, 1957; Gray, 1979, 1993; Shuleikyn, 1979; Khain y Sutiryn, 1983; WMO, 1995). A unique approach to define this minimum depth does not exist. For example, Perlroth (1967) wrote that if at the first 60 m from the surface the temperature change is greater than 8.5°C, the probability that the cyclone reaches hurricane stage is around 4%. On the other hand, the criterion of Holliday and Thompson (1979, cited in WMO, 1995) is that 75% of tropical cyclones, with minimum central pressures of 920 hPa or less, could have a quick deepening (greater than 42 hPa in 1 h) when the sea surface temperature is greater than 28°C and the isothermal layer thickness is greater than 30 m. In addition, Shuleikyn (1978) indicates that tropical cyclones cannot develop off the tropical African coast, although the sea surface temperature is habitually very high, because there the isothermal layer thickness is less than 30 m. However, Evans (1993, cited in WMO, 1995) does not consider the isothermal layer thickness an important condition for a tropical cyclone to become a great intensity hurricane (wind speed greater than 70 m/s, categories 4–5, according to the Saffir-Simpson scale; Simpson, 1974), but points out that the surface layer temperature should be equal to or greater than 28°C. The data used in this paper show that the thermal characteristics of Cuban waters are in correspondence with these criteria, favoring the development of tropical cyclones.

The air-sea interaction reaches considerable depths and it favors the thickness increase of the warm surface layer. Studies have shown that most commercial species live in the first 200 m from the surface in Cuban waters (García 1981a, 1981b). On the other hand, analyses of the water mass vertical distribution of the Intra-American Seas (Gallegos *et al.*, 1998; Moores and Maul, 1998) and in Cuban waters (Mitrani and Díaz, 2002) show that surface and subsurface waters have a thickness of around 250 m. Further, applying the thermal active layer criterion, it was noticed that the water temperature remains constant throughout the year at depths between 250 and 300 m, with an approximate value of 17°C (Mitrani, 2000). From these results, it is possible to conclude that the most intensive air-sea interaction in Cuban waters occurs at around 250 m depth.

The isothermal layer presents a thickness of some dozens of meters throughout most of the year, while surface temperatures remain equal to or above 28°C during the whole tropical cyclone season (from the last two weeks of May to early November). The best combination of high temperatures with a large isothermal layer thickness occurs from the two last weeks of August to October, the most favorable month being October, because it keeps an isothermal layer thickness greater than 50 m with high temperatures, followed by September (fig. 2). This situation is consistent with the greater frequency of

superiores a 28°C desde la segunda mitad de mayo y persisten con esos valores hasta noviembre, es decir, durante toda la temporada de huracanes. La combinación óptima de una capa isotérmica lo suficientemente profunda con temperaturas altas se alcanza en agosto, septiembre y octubre, siendo en este último en el que se presenta la más favorable pues mantiene temperaturas muy altas con espesores de la capa isotérmica de más de 50 m, seguido por septiembre. Esta situación se corresponde con la mayor frecuencia de formación y movimiento de los ciclones tropicales sobre territorio cubano y aguas circundantes, la cual se presenta en octubre, seguido por septiembre (Limia *et al.*, 2003).

En cuanto a su distribución espacial en el área de estudio, las circunstancias más favorables para el desarrollo de los ciclones tropicales se presentan hacia la región occidental del Archipiélago Cubano, en el Estrecho de Yucatán, el Estrecho de la Florida y al sur de la Isla de la Juventud. A modo de ilustración, en la figura 2 se aprecia la distribución espacial de la estructura vertical termohalina en el bimestre septiembre a octubre, mientras que en la figura 3 se representa el espesor de la capa isotérmica y en la figura 4 la profundidad de la isoterma de 26°C, expresados en metros.

tropical cyclone formation and movement over Cuban territory and surrounding waters that is observed in October, followed by September (Limia *et al.*, 2003).

Regarding the spatial distribution, the most favorable circumstances for the development of tropical cyclones occur in the western region of the Cuban Archipelago: Straights of Florida, Yucatán Channel and to the south of Juventud Island. Figure 3 shows the spatial distribution of the isothermal layer and figure 4 shows the same for the 26°C isotherm, expressed in meters, during the most active two-month period.

The number of tropical cyclones that have touched each zone and of those that have formed in Cuban waters was obtained from the INSMET archives for the period 1966–1993 (fig. 5). Zones 1, 2, 6, 7 and 8 present the greatest cyclone activity, zone 2 being the most favorable for cyclogenesis. It can be observed that most events were reported in those areas of maximum isothermal layer thickness and of greater depth of the 26°C isotherm. The cyclone activity increases toward the west, especially in the area of the “warm pool” to the south of Juventud Island. In general, the tropical cyclone tracks follow the movement of warm water in the study area, in accordance with that expressed by Shuleikyn (1978).

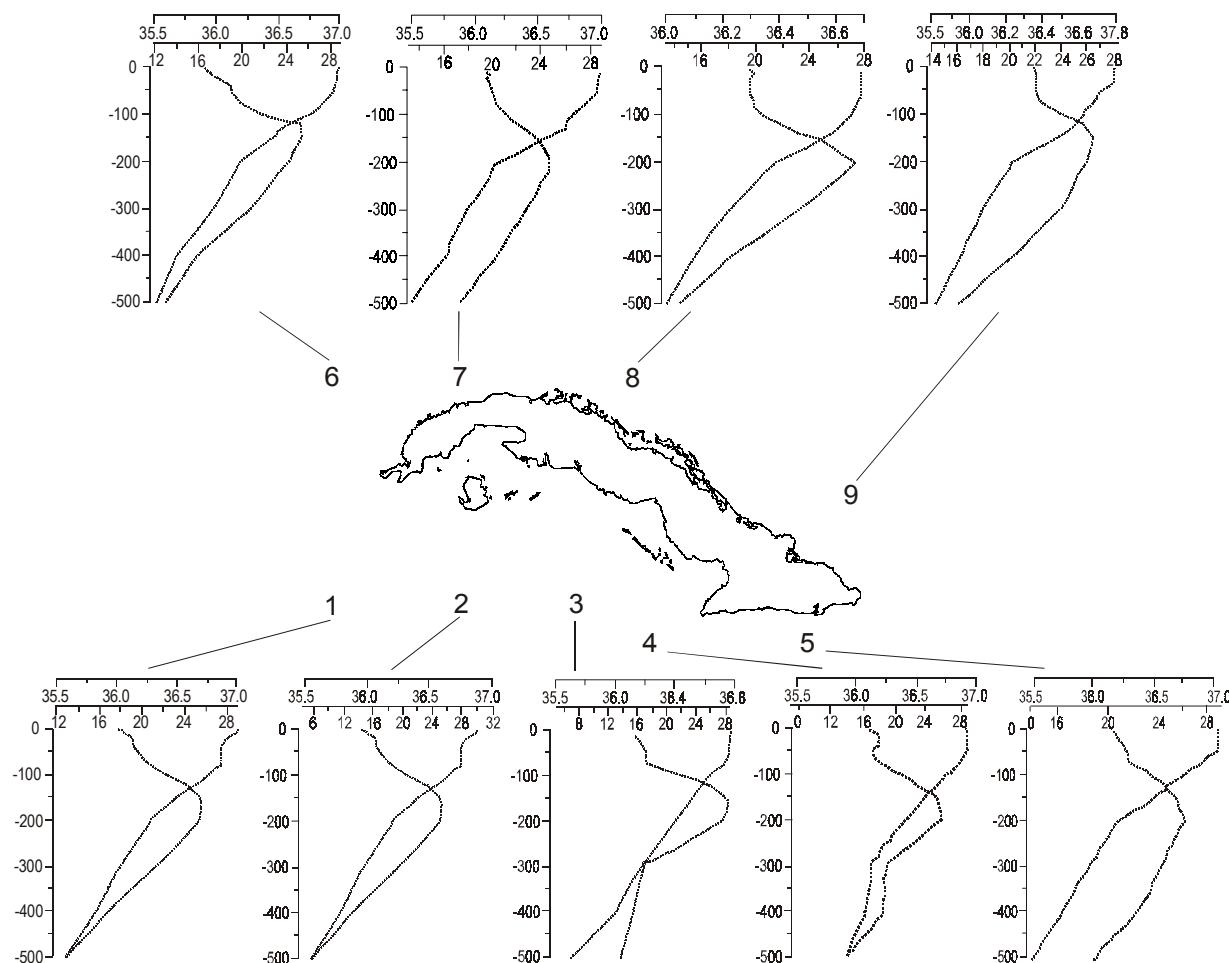


Figura 2. Estructura termohalina característica de cada zona geográfica en el bimestre septiembre–octubre, de máxima actividad ciclónica.
Figure 2. Average thermohaline structure of each zone in September and October, during maximum cyclone activity.

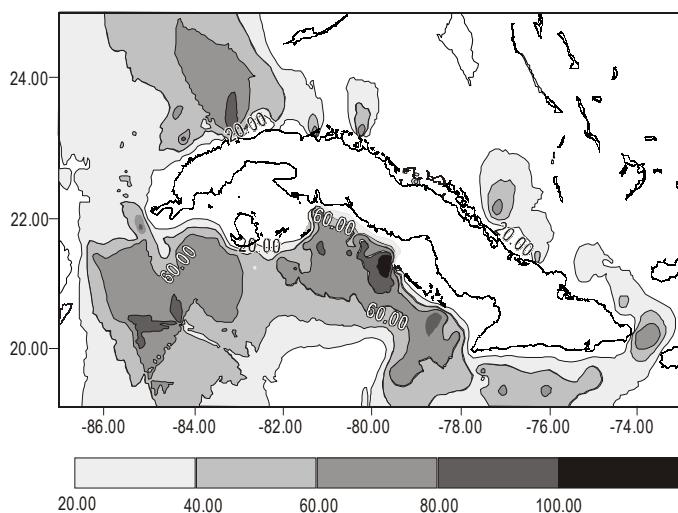


Figura 3. Espesor de la capa isotérmica en el bimestre septiembre-octubre, de máxima actividad ciclónica.

Figure 3. Thickness of the isothermal layer in September and October, during maximum cyclone activity.

De los archivos del INSMET se tomó la cantidad de ciclones tropicales que han afectado a Cuba y, de éstos, los que se han formado en aguas cubanas, por zonas, entre 1966 y 1993 (fig. 5). Las zonas 1, 2, 6, 7 y 8 exhiben la mayor actividad ciclónica, siendo la zona 2, al sur de la Isla de la Juventud, la más favorable para la formación de los ciclones tropicales. Obsérvese que la mayor cantidad de ciclones tropicales se registran en las zonas de máximo espesor de la capa isotérmica y de mayor profundidad de la isoterma de 26°C. Pero además hay un aumento de actividad hacia el occidente. Se destaca en este caso la presencia de una “alberca caliente” al sur de la Isla de la Juventud que coincide con la idea planteada por Shuleikyn (1978) de que las trayectorias de los ciclones

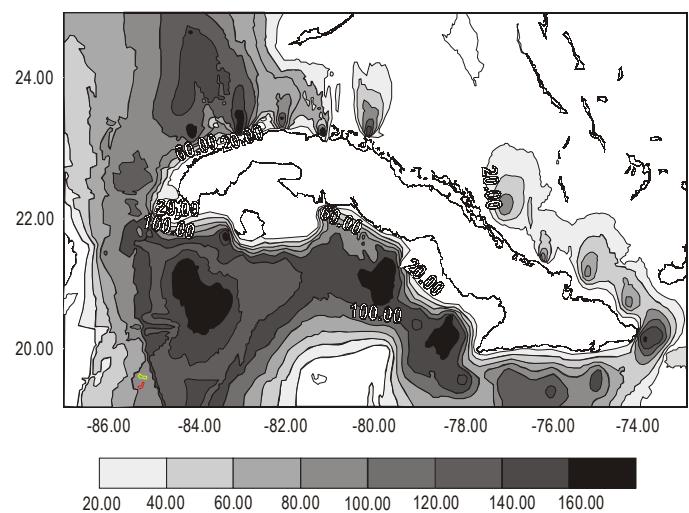


Figura 4. Profundidad de la isoterma de 26°C en el bimestre septiembre-octubre, de máxima actividad ciclónica.

Figure 4. Depth of the 26°C isotherm in September and October, during maximum cyclone activity.

On the other hand, it is interesting to analyze the behavior of the thermal structure and cyclone activity in the presence of an ENSO event, keeping in mind that hurricane activity in the Atlantic is inhibited by the occurrence of this event (Pérez-Suárez *et al.*, 1998). The thickness of the isothermal layer, the sea surface temperature and the depth of the 26°C isotherm are given in table 1 for ENSO years (according to data taken from the website of the National Centers for Environmental Prediction/Climate Prediction Center and the United Kingdom Meteorological Office, in 2001), and in table 2 for non-ENSO years with considerable cyclone activity (according to data from the INSMET archives). The number of tropical cyclones that formed over the Atlantic and Cuban waters is also given.

Although the observations are not regular enough to accurately compare all the cyclone seasons, it is possible to appreciate some peculiarities; for example, the formation and development of tropical cyclones over the Atlantic increases in the absence of ENSO, but in Cuban waters this increase is not always observed. However, the thermal state of the seawater around Cuba is always favorable for tropical cyclone activity. For this reason, it can be inferred that there are others factors determining the activity of each cyclone season in the study area.

The thermal structure of the sea surface layer in Cuban waters is favorable for tropical cyclone activity throughout the hurricane season. An isothermal surface layer with thickness of some dozens of meters and temperature above 28°C can be observed from the last two weeks of May to the first half of November. The best combination of high surface temperatures (above 28°C) and isothermal layer thickness (above 50 m) for the development of tropical cyclones occurs from the end of August to October, the latter month being the most favorable, followed by September.

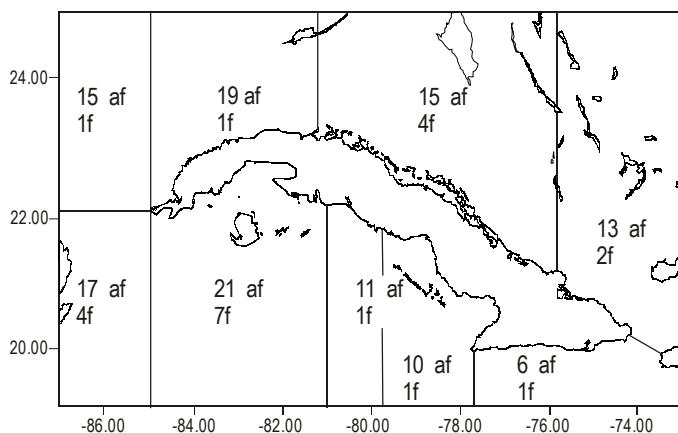


Figura 5. Actividad ciclónica en aguas cubanas entre 1966 y 1993. Claves: af = cantidad total de ciclones tropicales que afectaron al área; f = cantidad de ciclones tropicales que se formaron en el área.

Figure 5. Cyclone activity in Cuban waters from 1966 to 1993: af = total number of tropical cyclones that affected the area; f = number of tropical cyclones that formed in the area.

Tabla 1. Características observadas de la capa de agua sobre calentada en torno al territorio cubano (AC) durante algunos años con presencia de ENOS. Ht = espesor de la capa isotérmica, TSO = temperatura superficial del océano, H26 = profundidad de la isoterma de 26°C, y CT = ciclones tropicales.

Table 1. Characteristics of the isothermal surface layer in Cuban waters (AC) during ENSO years. Ht = thickness of the isothermal layer, TSO = sea surface temperature, H26 = depth of the 26°C isotherm, and CT = tropical cyclones.

Año	Meses	Ht (m)	TSO (°C)	H26 (m)	CT en el Atlántico	CT en AC
1972	Agosto	30–75	29–29.5	60–132	7	1
1973	Junio	40–98	29.0	40–102	8	–
1986	Junio–Julio Octubre–Noviembre	30–98 30–97	27.5–29.5 28.5–29.0	40–123 52–175	6	–

Tabla 2. Características observadas del espesor de agua sobre calentada en torno al territorio cubano (AC) durante algunas temporadas ciclónicas muy activas. Ht = espesor de la capa isotérmica, TSO = temperatura superficial del océano, H26 = profundidad de la isoterma de 26°C, y CT = ciclones tropicales.

Table 2. Characteristics of the isothermal surface layer in Cuban waters (AC) during non-ENSO years: Ht = thickness of the isothermal layer, TSO = sea surface temperature, H26 = depth of the 26°C isotherm, and CT = tropical cyclones.

Año	Meses	Ht (m)	TSO (°C)	H26 (m)	CT en el Atlántico	CT en AC
1969	Agosto–Octubre.	70–98	28–30	40–142	18	3
1971	Noviembre	50–140	28–28.5	40–164	13	–
1988	Julio–Noviembre	40–106	29–30.5	40–156	12	–

tropicales siguen en gran medida a la distribución y al movimiento de las aguas con mayor TSO.

Por otra parte, es interesante analizar el comportamiento de la estructura térmica en relación con la ocurrencia del evento de El Niño ENOS y con la actividad de las temporadas de huracanes, sobre todo si se tiene en cuenta que la actividad ciclogenética en el Atlántico se inhibe con la ocurrencia de la Oscilación del Sur El Niño (ENOS) (Pérez Suárez *et al.*, 1998). En las tablas 1 y 2 se presentan, los espesores máximos de la capa isotérmica, la temperatura superficial oceánica y las profundidades de la isoterma de 26°C, en distintos períodos de expedición durante algunos años con ocurrencia de ENOS (según datos tomados de la página de Internet de National Centers for Environmental Prediction/Climate Prediction Center y United Kingdom Meteorological Office, 2001) y en algunos años de temporadas ciclónicas muy activas, según datos de los archivos del INSMET. Se incluye también el número de ciclones tropicales formados en el Atlántico y en aguas cubanas.

Aunque las observaciones no se realizaban con regularidad suficiente como para comparar con precisión todas las temporadas de huracanes, es posible apreciar algunas particularidades. Por ejemplo, en presencia de ENOS en el Atlántico disminuye notablemente la formación y desarrollo de los ciclones tropicales y en aguas cubanas es prácticamente nula, mientras que en ausencia de ENOS la actividad de los ciclones aumenta en el Atlántico pero en aguas cubanas puede incrementarse o no. Sin embargo se aprecia que el estado térmico de las aguas superficiales en los mares que circundan a

The active layer (defined as the layer where the air-sea interaction occurs with the highest intensity) of Cuban waters presents a thickness around 250 m, in accordance not only with this thermal approach, but also with the habitat depth of commercial species and the vertical distribution of the water mass.

The maximum thickness of the isothermal layer and the maximum depth of the 26°C isotherm are observed in the Casilda-Cazones Gulf, south of Juventud Island, Yucatan Channel and Straights of Florida, coinciding with maximum tropical cyclone activity.

ENSO events favor high oceanic temperatures and deepening of the isothermal layer; however, this situation does not contribute to increase the activity of tropical cyclones in the area.

The thermal state of the sea surface layer around Cuba is always favorable for the development of cyclone activity, regardless of the presence of an ENSO event.

English translation by the authors.

Cuba en las temporadas analizadas fue siempre favorable para la formación y desarrollo de los ciclones tropicales, tanto en lo referido a la TSO como al espesor de la capa isotérmica, de donde es posible deducir que estas particularidades no son determinantes en la actividad ciclónica sobre el área de estudio.

Durante toda la temporada de huracanes, la estructura térmica de las aguas cubanas es favorable a la formación y

desarrollo de los ciclones tropicales, presentándose una capa homogénea superficial con espesores de decenas de metros y temperaturas iguales o mayores de 28°C desde la segunda mitad de mayo hasta la primera mitad de noviembre. Para el desarrollo de los ciclones tropicales, la combinación más favorable de altas temperaturas (mayores de 28°C) con espesores significativos de la capa isotérmica (más de 50 m), se manifiesta desde finales de agosto hasta principios de noviembre, siendo octubre el mes más favorable, seguido por septiembre.

La capa activa oceánica en los mares de Cuba tiene una profundidad media de 250 m, acorde con los criterios de hábitat de especies comerciales, el análisis de las masas de agua y la profundidad que alcanza el curso anual de la temperatura del agua.

En su distribución espacial, los máximos del espesor de la capa isotérmica y de la profundidad de la isoterma de 26°C se observan en el entorno de la mitad occidental de Cuba, es decir en el Golfo de Casilda-Cazones, sur de Isla de la Juventud, Canal de Yucatán y norte de Pinar del Río y La Habana, zonas que coinciden con las de mayor afectación por ciclones tropicales en el área de interés.

La presencia de ENOS favorece las altas temperaturas oceánicas con profundización de la capa homogénea en aguas cubanas. Sin embargo, esta situación no contribuye al incremento de la actividad de los ciclones tropicales en el área.

El estado térmico de los mares en torno a Cuba, durante los meses de temporada de huracanes, en general es siempre favorable al desarrollo de los ciclones tropicales, haya o no actividad ENOS.

Referencias

- Doronin, Y.P. (1978). Física del Océano. Guidrometeoizdat, Leningrado, 224 pp. (En ruso.)
- Fisher, E.L. (1957). Hurricane and the sea surface temperature field. The exchange of energy between the sea and the atmosphere in relation with hurricane behavior. National Hurricane Research Program, Report No. 8, Parts I and II.
- Gallegos, A., Victoria, I., Zavala, J., Fernández, M. y Penié, I. (1996). Hidrología en los estrechos del Mar Caribe occidental. Informe Final de Proyecto del ICML (UNAM, México, DF) y del IDO (CITMA, La Habana), 38 pp.
- Gallegos, A., Victoria, I., Zavala, J., Fernández, M., Barberán, J., Penié, I., Fernández, A. y Marmolejo, C. (1998). Condiciones oceánicas en el Canal de Yucatán, el Estrecho de la Florida (Cayo Hueso-La Habana), el Canal Viejo de Bahamas, el Paso de los Vientos, el Estrecho de Colón y el Mar del Caimán, en noviembre de 1989 y abril de 1991. Informe Final de Proyecto del ICML (UNAM, México, DF) y del IDO (CITMA, La Habana), 46 pp.
- Gallegos, A., Victoria, I., Zavala, J., Fernández, M. y Penié, I. (1998). Hidrología en los estrechos del Mar Caribe occidental. Rev. Invest. Mar., 19(1): 1-37.
- García, C. (1981a). Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba. I. Aguas superficiales. Rev. Cub. Invest. Pesq., 6(2): 1-15.
- García, C. (1981b). Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba. I. Aguas sub-superficiales. Rev. Cub. Invest. Pesq., 6(2): 16-3.
- García, C. (1996). Oceanografía de la región norcentral de Cuba. II. Estructura termohalina. Rev. Cub. Invest. Pesq., 20(1): 35-42.
- Gray, W. (1979). Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation. Meteorology over the Tropical Ocean. D.B. Shaw (ed.), Roy. Meteorol. Soc., 231 pp.
- Gray, W. (1993). Regional Meteorology and hurricanes. Climatic Change in the Inter-American Sea. G.A. Maul (ed.), UNEP, Edward Arnold, London, pp. 87-99.
- Khain, A.P. y Sutyrin, G.G. (1983). Los Ciclones Tropicales y su Interacción con el Océano. Guidrometeoizdat, Leningrado, 271 pp. (En ruso).
- Levitus, S. (1982). Climatological Atlas of the World Ocean. National Oceanic and Atmospheric Professional Paper No.13, Rockville, Md., 173 pp.
- Limia, M., Vega, R. y Pérez-Suárez, R. (2003). Climatología de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba y sus provincias. Memorias del II Simposium Internacional de Ciclones Tropicales "Benito Viñes in Memoriam". La Habana, 3-7 de marzo de 2003. Publicación electrónica. ISBN: 959-02-0339-6.
- Mitrani, I. (2000). Caracterización general de la capa activa oceánica en los mares cercanos a Cuba y su posible enlace con el desarrollo de los ciclones tropicales. Rev. Cub. Invest. Mar., 22(2): 81-92.
- Mitrani, I. y Díaz, O. (2002). Las masas de agua y la estructura termosalina vertical en los mares cercanos a Cuba. Memorias del I Seminario-Taller "La Física en la Meteorología". La Habana, 4 a 6 de febrero de 2002. Publicación electrónica. ISBN: 959-02-0339-6.
- Mitrani, I., Moreno, A. y Padilla, O. (1985). Algunos datos acerca de la capa activa oceánica en la región noroccidental del Caribe. Tropicheskaya Meteorologiya, Guidrometeoizdat, Leningrado, pp. 186-191. (En ruso.)
- Moores, C.N.K. y Maul, G.A. (1998) Intra-Americas Sea Circulation. In: A. Robinson and K.H. Brink (eds.), The Sea. Vol. II, John Wiley and Sons, pp. 183-208.
- Moreno, A., Mitrani, I. y Padilla, O. (1985). Análisis de los flujos de calor y humedad en la capa de interacción océano-atmósfera en la región noroccidental del mar Caribe. Tropicheskaya Meteorologiya, Guidrometeoizdat, pp. 192-196. (En ruso.)
- Pérez-Suárez, R., Ballester, M., González, C. y Limia, M. (1998). Los ciclones tropicales de Cuba. Variaciones y tendencias observadas. Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales "Rodríguez in Memoriam" (Memorias). WMO, SOMETCUBA, INSMET, La Habana, pp. 30-34.
- Perlroth, I. (1967). Hurricane behavior as related to oceanographic environmental conditions. Tellus, 14(4): 403-408.
- Simpson, R.H. (1974). The hurricane disaster potential scale. Weatherwise, 27: 169-186.
- Siam, C. y García, C. (1981). Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba. III. Profundidad de inicio de la termoclina. Rev. Cub. Invest. Pesq., 6(2): 36-49.
- Shuleikyn, V.V. (1978). Cálculo del desarrollo, movimiento y amortiguamiento de los ciclones tropicales y de las ondas principales que generan los huracanes. Guidrometeoizdat, Leningrado, 95 pp. (En ruso.)
- Victoria, I., Cabal, A., García, R., Hernández, M., Puente, M., Ramírez, O., Rallo, M., Rodas, L., Rodríguez, P., Rosabal, I. y Simanca, J. (1990). Caracterización Oceanográfica de la Fosa de Jagua y la Zona Económica Exclusiva al sur de Cuba. Informe Final de Proyecto del IDO CITMA, La Habana, 125 pp.
- WMO, World Meteorological Organization (1995). Global perspective on tropical cyclones. WMO/TD No. 693, Geneva, Switzerland, 289 pp.