

Algunas características de las tormentas tropicales y de los huracanes que atravesaron o se formaron en el Caribe adyacente a Costa Rica durante el período 1886-1988

Omar G. Lizano¹

*Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria, Escuela de Física,
Centro de Investigaciones Geofísicas y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

Walter Fernández

*Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria, Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas,
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

(Recibido 4 agosto 1995, aceptado 29 enero 1996)

ABSTRACT

Some characteristics of tropical storms and hurricanes in the Caribbean adjacent to Costa Rica are studied, in the area located between 70-85°O and 8-18° N. In particular, utilizing records for the period 1886-1988, the frequency analyses for the usual parameters which characterize hurricanes are presented: atmospheric pressure in the eye, magnitude of maximum wind, and velocity and direction of movement. The frequencies with which tropical storms and hurricanes are formed and crossed such an area are also studied

1. Introducción

Los ciclones tropicales se forman a partir de conglomerados nubosos convectivos. Conforme evolucionan pasan por varias etapas, las cuales se clasifican de la siguiente manera (e.g., Elsberry, 1985):

1) **Perturbación tropical:** una región de convección organizada con un diámetro de 200 a 600 km que tiene un carácter migratorio no frontal.

2) **Depresión tropical:** un ciclón tropical débil con una circulación cerrada definida en superficie y con las velocidades sostenidas más altas del viento (promediadas durante al menos un minuto) menores de 17 m s⁻¹ (34 nudos).

3) **Tormenta tropical:** un ciclón tropical con isobaras cerradas y con las velocidades sostenidas más altas del viento entre 17 y 32 m s⁻¹ (entre 34 y 63 nudos) inclusive.

4) **Huracán (Tifón):** Un ciclón tropical con las velocidades sostenidas más altas del viento de 33 m s⁻¹ (64 nudos) o mayores.

Se han utilizado varios términos para describir la evolución de un ciclón tropical. Frank (1985) propuso las siguientes:

a) **Génesis:** transición de una perturbación a una depresión, la formación inicial de una circulación rotacional con una escala de unos pocos cientos de km.

b) **Desarrollo:** transición de una depresión tropical a una tormenta tropical.

¹Corresponding author address. Dr. Omar Lizano, Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. E-mail: ollizano@cariari.ucr.ac.cr

c) Intensificación: la evolución de la etapa de tormenta tropical a un huracán (ciclón maduro).

Aunque Costa Rica no ha sido impactada directamente por huracanes, sí ha sido muy afectada por los efectos indirectos de los mismos (Grandoso, 1976; Fernández y Vega, 1996), tal como sucedió en los casos de los huracanes Irene (1971), Fifi (1974), Greta (1978), Allen (1980), Gilbert (1988) y Joan (1988).

Del total de 872 huracanes formados entre 1886 y 1988, aproximadamente el 10% atravesaron el meridiano 70°O entre las latitudes 10-18°N, con alguna probabilidad de haber impactado a Costa Rica. Cerca del 10% de los 872 huracanes se formaron dentro del área limitada por 70-85°O y 10-18°N.

Las condiciones oceánicas en el Caribe están cambiando, tales como: aumento en la temperatura superficial del mar (TSM), aumento en el nivel del océano y en los patrones de circulación de sus aguas (Maul, 1993). Las proyecciones de las condiciones atmosféricas y oceánicas que menciona Fernández (1991) para los próximos años en el Caribe, podrían producir más frecuentemente las condiciones propicias para que se produzcan ciclones tropicales (Emanuel, 1987; Broccoli y Manabe, 1990). De manera que la probabilidad de ser impactados directamente por un huracán podría aumentar. Por esto, es muy importante conocer las características de los huracanes que se han formado o han atravesado el Caribe adyacente a Costa Rica.

En este artículo se analizan los parámetros usuales que caracterizan a los huracanes en el Caribe adyacente a Costa Rica, tales como la presión atmosférica en el ojo, la magnitud del viento máximo y la velocidad y la dirección de desplazamiento.

Estos parámetros son importantes tanto para la simulación del oleaje asociado a los huracanes (e.g., Young, 1988), como para los modelos de pronóstico de las trayectorias de los huracanes y, de alguna manera, para orientar las formulaciones de políticas públicas nacionales sobre la prevención o la mitigación de los desastres naturales. También se presentan las trayectorias de las tormentas tropicales y de los huracanes que se formaron y atravesaron el área de estudio seleccionada, la cual está localizada entre 70-85°O y 8-18°N, durante el período 1886-1988.

2. Datos y metodología

La mayoría de las características de los huracanes fueron extraídas del registro histórico de la NOAA (Jarvinen *et al.*, 1984), el cual contenía información de 1886 a 1983. Mediante informes solicitados al "National Hurricane Center" (NHC) de los Estados Unidos, dicho registro fue completado por el Departamento de Ciencias Marinas de la Universidad de Puerto Rico hasta 1987 y por el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica hasta 1988. El período considerado en este trabajo es entonces 1886-1988.

El registro histórico de la NOAA contiene básicamente 4 parámetros: posición del huracán (latitud y longitud), velocidad máxima del viento sostenido en nudos, la presión central en milibares (o hectopascuales) y la fecha y hora.

La velocidad de desplazamiento de los huracanes (V_p) se obtuvo calculando la distancia recorrida por el huracán entre las posiciones proporcionadas en el registro de la NOAA, las cuales están dadas cada 6 horas.

Los valores del radio del viento máximo (RMW) del ojo del huracán fueron extraídos de los informes del NHC entre 1978 y 1988 (Clark y Case, 1985, 1986, 1989, Clark y Staff, 1985; Herbert y Staff, 1979, 1980; Lawrence y Herbert, 1979; Staff, 1982; Taylor y Staff, 1981).

En los análisis de frecuencias de los parámetros mencionados de los huracanes se utilizó el método recomendado por Blank (1980), donde, para una variable "A", el ancho de celda está dado por:

$$c = (A_{\max} - A_{\min}) / \text{número de celdas}$$

donde A_{\max} y A_{\min} son los valores máximo y mínimo de la variable.

En el Cuadro 1 se resume alguna información sobre las tormentas tropicales y los huracanes que atravesaron o se originaron en el área de estudio durante el período 1886-1988.

3. Características de los huracanes en el área localizada entre 70-85°O y 8-18°N

En general, en todo el registro de la NOAA, las mediciones de la presión central en el huracán son escasas. Aparecen más frecuentemente a partir de 1944, y desde 1977 el NHC recibe información continua desde los aviones de reconocimiento y a través de los satélites meteorológicos geo-

estacionarios (Jarvinen *et al.*, 1984). Antes de los vuelos de reconocimiento realizados a partir de 1944, las fuentes de información fueron las estaciones en tierra y los informes ocasionales de los barcos. El primer valor, por ejemplo, se registró para el quinto huracán de la serie, el cual se formó en octubre de 1886 y entró a tierra justamente al oeste de Houston, Texas. Dentro del área de estudio, los valores de la presión central, para los huracanes que se encuentran en el registro de la NOAA, se inician a partir de 1951, con el Huracán Charlie.

CUADRO 1. Alguna información sobre las tormentas tropicales y los huracanes que atravesaron o se formaron en el área limitada por 70-85°O Y 8-18°N, en el período 1886-1988.

No. de tormentas tropicales y huracanes	158
No de tormentas tropicales (T)	55
No de huracanes (H)	77
No. de huracanes en condición de tormentas tropicales en el área de estudio	26
No de posiciones donde se registra la condición de huracán (VMW > 33 m/s = 64 nudos)	521
No de valores de la presión central en condición de huracán	78
No de valores del radio del viento máximo	19

CUADRO 2. Algunos valores de los parámetros de los huracanes que atravesaron o se formaron en el área limitada por 70-85° O Y 8-18° N, en el período 1886-1988

	mínimo	promedio	máximo
P_o (hPa)	914	968	1006
VMW(km/h)	120	160	287
Az(grd)	-	283	-
V_r (km/h)	0	19	45

donde:

- P_o : presión atmosférica central del huracán
- VMW : velocidad del viento máximo sostenido alrededor del ojo
- Az : dirección respecto al norte de la trayectoria del huracán.
- V_r : velocidad de desplazamiento del huracán.

CUADRO 3. Análisis de frecuencia para la presión central del huracán (P_o).

no.	presión(hPa)	frec(%)	frec. acum
1	913.5-921.5	3.9	3.9
2	921.5-929.5	0.0	3.9
3	929.5-937.5	1.3	5.2
4	937.5-945.5	9.2	14.4
5	945.5-953.5	11.8	26.2
6	953.5-961.5	10.5	36.7
7	961.5-969.5	7.9	44.6
8	969.5-977.5	13.2	57.8
9	977.5-985.5	15.8	73.6
10	985.5-993.5	22.5	96.1
11	993.5-1001.5	2.6	98.1
12	1001.5-1009.5	1.3	100.0

CUADRO 4. Análisis de frecuencia para la velocidad de desplazamiento del huracán (V_r)

no.	velocidad(km/h)	frec(%)	frec. acum.
1	0.05- 4.45	3.2	3.2
2	4.45- 9.15	9.6	12.8
3	9.15-13.65	17.5	30.3
4	13.65-18.15	18.4	48.7
5	18.15-22.65	23.2	71.9
6	22.65-27.15	12.5	84.4
7	27.15-31.65	6.9	91.3
8	31.65-36.15	5.6	96.9
9	36.15-40.65	2.1	99.0
10	40.65-45.15	1.0	100.0

CUADRO 5. Análisis de frecuencia para el radio del viento máximo (RMW) del huracán

no.	radio (km)	frec(%)	frec. acum.
1	5.0-12.5	42.1	42.1
2	12.5-20.0	26.3	69.4
3	20.0-27.5	15.8	84.2
4	27.5-35.0	5.3	89.5
5	35.0-42.5	5.3	94.8
6	42.5-50.0	5.3	100.0

Los rasgos más sobresalientes de los valores absolutos de los parámetros de los huracanes, se resumen en la Cuadro 2. Los Cuadros 3, 4 y 5 muestran los análisis de frecuencias realizados con estos parámetros siguiendo el criterio de Blank (1980).

El Cuadro 3 muestra una tendencia de los huracanes hacia valores altos de la presión central (P_o). Cabe resaltar que este Cuadro muestra al menos un huracán, Beulatt en 1967, con una presión central de 1006 hPa, muy cercana a la presión ambiental normal de 1013 hPa.

El análisis de frecuencia que muestra el Cuadro 4, para la serie de la velocidad de desplazamiento (V_r) de los huracanes estudiados, muestra un alto porcentaje de huracanes con velocidades de desplazamiento bajas, las cuales, como menciona Ho (1975), son características en latitudes bajas.

El Cuadro 5 muestra la distribución de frecuencia para el radio del viento máximo (RMW) de los huracanes para un período de 10 años. Aunque realmente la muestra es muy pequeña como para caracterizar la región, la tendencia de los huracanes en esta área es hacia valores pequeños. Ho (1975) encontró que para los huracanes alrededor de Puerto Rico, más del 50 % tenían radios menores de 22.25 km, lo cual es una característica de los huracanes en las regiones tropicales. Esto coincide con los pocos resultados analizados en este trabajo.

En general, el análisis de estos parámetros resalta

el hecho, como lo menciona Ho (1975), que los huracanes no han alcanzado una completa madurez dentro de la región.

4. Trayectorias de las tormentas tropicales y de los huracanes en el área localizada entre 70-85°O y 8-18°N, durante el período 1886-1988.

Estudios de la distribución de las trayectorias de los ciclones tropicales a nivel global muestran, además de su variabilidad, algunas características bien definidas (e.g., Gray, 1978). Para nuestros propósitos es conveniente resaltar las siguientes:

- a) Los ciclones no se forman dentro de los 4-5° al norte o al sur del ecuador. La génesis se observa principalmente en las bandas de latitud 5-15°. En el Hemisferio Sur, la génesis no ocurre a latitudes mayores de los 22°, pero en el Hemisferio Norte ocurre a latitudes tan altas como cerca de los 35-36°.
- b) Las regiones alrededor de 90°E, 140°E y 105°O son favorables para la génesis.
- c) La génesis de los ciclones es también favorecida cerca de la localización estacional de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT).

La estructura de un huracán o ciclón tropical maduro (e.g., Frank, 1977a, 1977b; Anthes, 1982; Elsberry *et al.*, 1985) resalta la importancia de tres factores: la liberación de calor por la convección de cúmulos, las fuentes de humedad del océano y la conservación del momento angular para mantener el huracán. Varios parámetros físicos están relacionados a esos factores. Gray (1978) menciona que la frecuencia estacional de los ciclones tropicales está relacionada a los siguientes seis parámetros físicos:

- 1) *Vorticidad relativa en niveles inferiores.* Se ha observado que los ciclones tropicales se forman solamente en regiones de vorticidad positiva en niveles inferiores (Gray, 1968). Entre mayor sea esa vorticidad mayor es el potencial para la génesis de ciclones.
- 2) *Parámetro de Coriolis.* Los ciclones no se forman dentro de los 4-5° a cada lado del ecuador.
- 3) *El inverso de la cortante vertical del viento horizontal entre la troposfera superior e inferior.* La evidencia observacional muestra claramente que los

ciclones tropicales se forman bajo condiciones de valores mínimos de la cortante vertical del viento horizontal.

4) *Energía térmica del océano.* La temperatura excede los 26 °C hasta una profundidad de 60 m.

5) *Gradiente vertical de la temperatura potencial equivalente entre la superficie y el nivel de 500 hPa.* Los ciclones no se forman a menos que haya un acoplamiento vertical de los patrones de flujo de la troposfera inferior y la troposfera superior. La convección de cumulonimbos (Cb) actúa como el principal mecanismo para ese acoplamiento vertical. La convección Cb está usualmente asociada con un decrecimiento de la temperatura potencial equivalente entre la capa límite y la troposfera media de 10 K o más.

6) *Humedad relativa de la troposfera media.* Se observa que los ciclones tropicales se forman solamente en regiones donde los promedios estacionales de la humedad en niveles medios son altos.

Los seis parámetros mencionados no son independientes, por lo que los parámetros climatológicos de gran escala asociados con la formación de ciclones tropicales se pueden resumir como (Frank, 1985): 1) temperaturas altas de la superficie del mar acopladas con una capa mezclada del océano relativamente profunda, 2) valores altos de vorticidad absoluta en la troposfera inferior, 3) una débil cortante vertical del viento sobre la perturbación pre-tormenta, la cual usualmente se manifiesta como una corriente profunda del este, y 4) movimiento ascendente promedio y humedades altas en niveles medios. Aunque estos criterios existen sobre áreas extensas de los océanos y durante períodos de tiempo largos, la génesis de ciclones es relativamente infrecuente. Una posibilidad es que la ciclogénesis ocurra cuando esas condiciones sobrepasan los promedios climatológicos regionales (Gray, 1975). Estudios realizados por McBride (1981a, 1981b) y por McBride y Zehr (1981) indican que aunque se satisfagan las condiciones termodinámicas señaladas (lo cual ocurre comúnmente), la formación no ocurre usualmente hasta que una perturbación convectiva pre-existente se desplace a una región de gran escala con vorticidad ciclónica sobre el promedio en niveles inferiores y vorticidad anticiclónica sobre el promedio en niveles superiores. La génesis usualmente ocurre a lo largo de la línea de cero

cortante vertical del viento entre regiones con cortantes fuertes y signos opuestos a cada lado.

La llamada "temporada de huracanes" para el Océano Atlántico, incluyendo el Mar Caribe, se inicia formalmente el 1 de junio y termina el 30 de noviembre de cada año. Sin embargo, en el Caribe adyacente a Costa Rica se han formado ciclones tropicales durante el mes de mayo y durante el mes de diciembre.

La Figura 1 muestra todas las tormentas tropicales y huracanes que atravesaron o se originaron en el área de estudio durante el período 1886-1988.

En la Figura 2, se muestran las trayectorias de las tormentas tropicales (T) y de los huracanes (H) para los meses de mayo a diciembre, en el área de estudio y durante el período 1886-1988. Algunos aspectos de estas figuras se enfatizan a continuación.

Mayo

El mes de mayo se caracteriza por la aleatoriedad de las trayectorias de los ciclones tropicales y porque el 100 % de ellos se formaron dentro de la área de estudio (Figura 2, mayo).

Junio

En junio, la mayoría de los ciclones se formaron dentro del área de estudio, pero con trayectorias menos aleatorias, dirigiéndose por lo general hacia el noroeste (Figura 2, junio).

Julio

En julio comienzan a aparecer ciclones tropicales formados en su mayoría afuera del área de estudio y desplazándose hacia el noroeste (Figura 2, julio).

Agosto

El número de ciclones tropicales aumenta en el mes de agosto, formándose también, en su mayoría, afuera del área de estudio y con direcciones bien definidas hacia el noroeste (Figura 2, agosto).

Setiembre

En setiembre, conforme las condiciones marítimas y atmosféricas son más propicias para la formación de ciclones tropicales, el número de ellos sigue aumentando, tanto dentro como afuera del área de estudio, y con direcciones más o menos definidas

hacia el noroeste (Figura 2, setiembre).

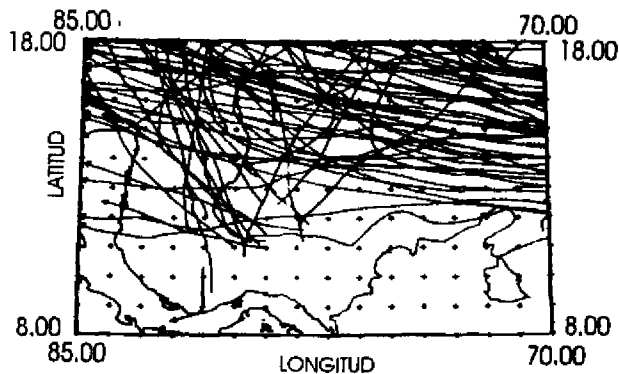


Fig. 1. a

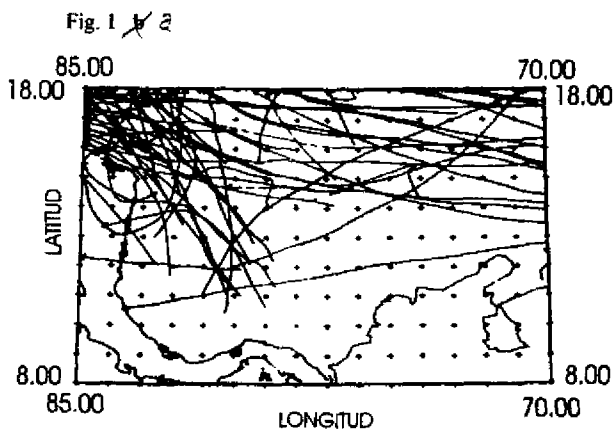


Fig. 1. b

Fig. 1. Tormentas tropicales (a) y huracanes (b) que se formaron y atravesaron el área de estudio durante el período 1886-1988.

Octubre

El máximo número de ciclones tropicales se presenta en octubre. En este mes, solamente 7 de los ciclones tropicales se formaron afuera del área de estudio. Alrededor de 40 ciclones tropicales (15 tormentas tropicales y 25 huracanes) se originaron dentro de dicha área (Figura 2, octubre). Existe mucha variabilidad en las direcciones seguidas por los ciclones tropicales. La mayoría de los que se formaron dentro del área de estudio tienen trayectorias hacia el norte, pero algunos muestran direcciones de desplazamiento hacia el este y oeste (Figura 2, octubre).

Noviembre

En noviembre, la totalidad de los ciclones tropicales se formaron dentro del área de estudio (Figura 2, noviembre). Este mes muestra el único

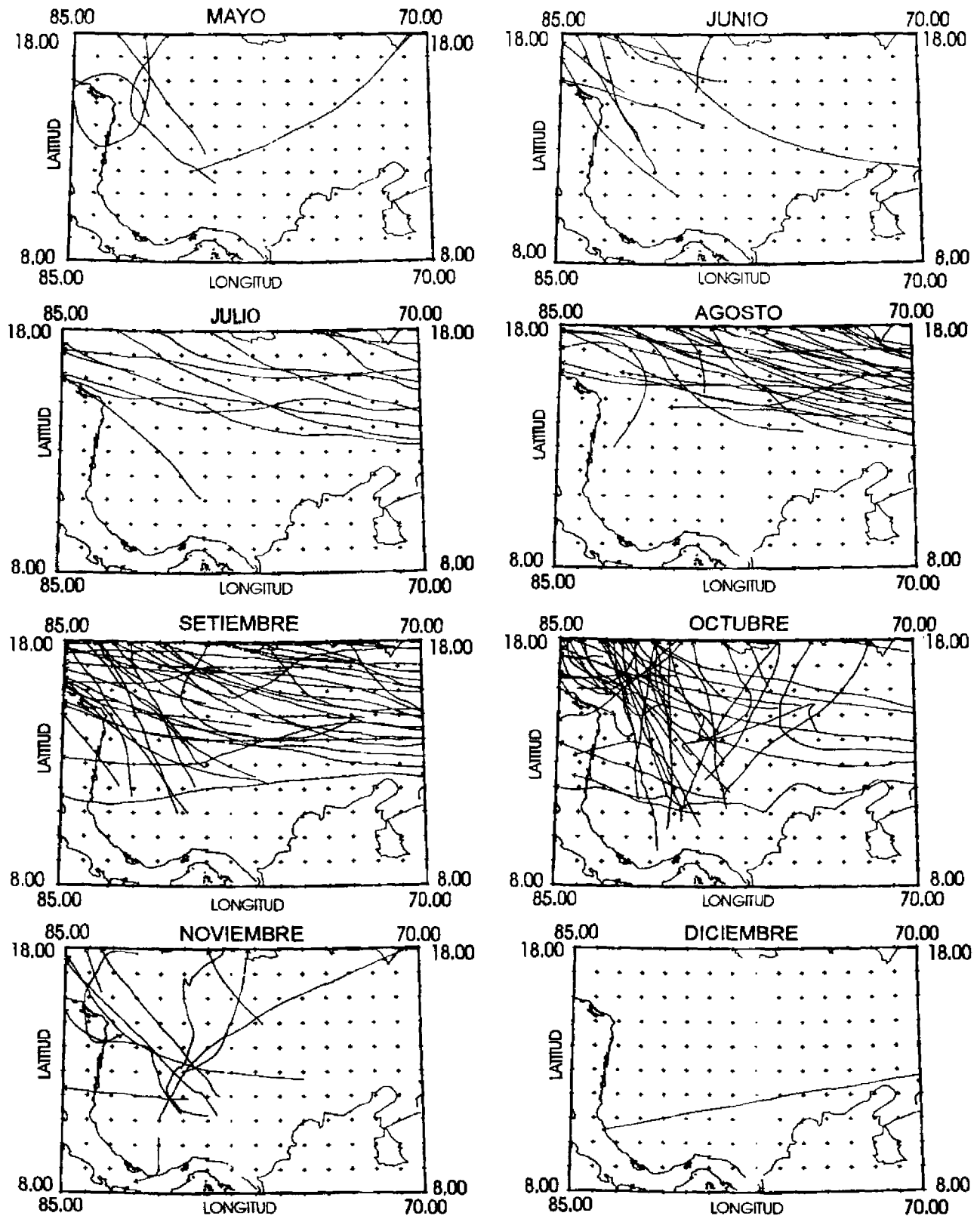


Fig. 2. Tormentas tropicales y huracanes que se formaron durante los meses de mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre durante el periodo 1886-1996.

huracán, Marta (1967), que se ha dirigido hacia el sur una vez que se formó al norte de Panamá (81° O y 10 3° N). Aunque es el único en esa condición, es de gran importancia, por cuanto muestra que existe la posibilidad de que un huracán se origine en el Caribe adyacente a Costa Rica y se dirija hacia las costas de este país. En la Figura 2 (noviembre), se observa también otra tormenta tropical al norte de Nicaragua (sin nombre, en 1949), la cual tuvo una dirección hacia el sur. Estas trayectorias podrían ser consecuencia de los efectos de los sistemas sinópticos que afectan la región en noviembre, como los frentes fríos, los cuales alteran el campo de flujo.

Diciembre

La Figura 2 (diciembre), muestra la única tormenta tropical (sin nombre, en diciembre de 1887) que ha impactado directamente la costa caribeña de Costa Rica, desde 1886 al presente. Entró a tierra a 65 km al noroeste de Limón.

5. Conclusiones

Aunque Costa Rica solo ha sido impactada directamente por una tormenta tropical, la posibilidad existe y aumenta. Un análisis de la TSM mensual promedio en el Caribe para un registro de 60 años (Hastenrath y Lamb, 1977) muestra que temperaturas mayores de 300 K (27 °C) comienzan a aparecer justamente durante el mes de mayo, lo que explica, al menos parcialmente, la formación de huracanes a partir de este mes. Pero por otro lado, como lo mencionan varios autores (e.g., Fernández 1991, 1994; Emanuel, 1987; Broccoli y Manabe, 1990), la temperatura superficial del Mar Caribe aumentará en los próximos 10 a 100 años, así como también la cantidad de humedad en los trópicos. Siendo estas variables básicas para la formación de huracanes, como se mencionó, se espera una mayor frecuencia de ciclones tropicales en el Caribe. Paralelamente, se podría esperar una ampliación de la "temporada de huracanes". Esto último ha de ser tomado en cuenta, ya que en los últimos meses del año los ciclones tropicales muestran trayectorias muy aleatorias, influenciadas por la aparición de los frentes fríos y otros sistemas sinópticos, por lo que el riesgo de ser impactados podría aumentar si tales aumentos de temperatura llegaran a ocurrir.

Agradecimientos

Los autores están agradecidos con el Dr. Aurelio Mercado del Departamento de Ciencias Marinas de la Universidad de Puerto Rico por haber proporcionado los datos del registro de la NOAA. Están también agradecidos con el Lic. Eladio Zárate por su valiosa revisión del manuscrito.

Los programas de computación para leer y extraer la información de los registros de la NOAA fueron preparados por el Departamento de Ciencias Marinas de la Universidad de Puerto Rico. Modificaciones de esos programas, para el análisis estadístico de los parámetros y la graficación de la información requerida, fueron realizadas por el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica. Este trabajo forma parte del proyecto V.I. No. 805-91-228, financiado por la Universidad de Costa Rica.

RESUMEN

Se estudian algunas características de las tormentas tropicales y de los huracanes en el Caribe adyacente a Costa Rica, en el área localizada entre 70-85°O y 8-18°N. En particular, utilizando un registro para el período 1886-1988, se presentan análisis de frecuencias para los parámetros usuales que caracterizan a los huracanes: presión atmosférica en el ojo, magnitud del viento máximo y velocidad y dirección de desplazamiento. También se estudian las frecuencias con las que las tormentas tropicales y los huracanes se forman y atraviesan dicha área.

Referencias

- Anthes, R.A., 1982. *Tropical Cyclones Their Evolution, Structure and Effects* Meteorological Monographs, Vol 19, No 41, American Meteorological Society, Boston, 208 pp
- Blank, L.T., 1980. *Statistical Procedures for Engineering, Management, and Science* McGraw-Hill Book Company. New York, 649 pp.
- Broccoli, A.S. y S. Manabe, 1990. Will global warming increase the frequency and intensity of tropical cyclones? *Geophysical Research Letters*, 17(11), 1917-1920
- Clark, G.B. y R.A. Case, 1985. Annual data and verification tabulation Atlantic tropical cyclones 1984. NOAA Technical Memorandum NWS 26 National Hurricane Center 164 pp.
- Clark, G.B. y R.A. Case, 1986. Annual data and verification tabulation Atlantic tropical cyclones 1985. NOAA Technical Memorandum NWS 29. National Hurricane Center. 164 pp.
- Clark, G.B. y R.A. Case, 1989. Annual data and verification tabulation Atlantic tropical cyclones 1988. NOAA Technical Memorandum NWS 42 National Hurricane Center. 164 pp.