

## Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX

LUIS F. ALVARADO

Gestión de Análisis y Predicción, Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio del Ambiente y Energía. San José, Costa Rica.

ERIC J. ALFARO

Escuela de Física (DFAOP-LIAP), Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, 2060-Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica

(Recibido 23 de octubre 2002, aceptado 18 de diciembre 2002)

### Abstract

It is studied the tropical cyclone frequency in the Caribbean Sea that affected Costa Rica during the XX century. None of the 125 cyclones passed over Costa Rica, being the closest track the 1993 tropical storm Bret. The 1988, category 5, hurricane Gilbert was the more intense, however the hurricane Joan during the same year is considered the cyclone with the most severe damage over Costa Rica. Hurricane Mitch in 1998 is cataloged as the cyclone with more damages in Central America and with more rain accumulated by topographic effects. The 40s (80s) was the decade with more (less) hurricane frequency. The modulation of this aspect could be the combination of interannual and interdecadal variability in the Eastern Tropical Pacific and Tropical North Atlantic. It is concluded that the intensity of a *temporal* in Costa Rica is not directly associated with cyclone's magnitude because it depends also on the relative cyclone's position and its velocity over the Caribbean Sea.

### 1. Introducción

El huracán es catalogado como uno de los fenómenos atmosféricos más poderosos del mundo. A pesar de que este fenómeno no es el sistema atmosférico más grande ni el más violento, combina su tamaño y fuerza para causar muchos daños y destrucción en la región del Caribe (Gray, 1993). Estudios realizados por Lizano *et al.* (2001) subrayan que esta destrucción hacia la infraestructura puede darse no solo por los fuertes vientos sino también por el oleaje generado por el ciclón. Además, trabajos recientes llaman la atención sobre la probabilidad de que el Atlántico Tropical Norte (ATN) este entrando en un nuevo ciclo con mayor cantidad e intensidad de huracanes y a una ampliación de la temporada de ciclones tropicales (Goldenberg *et al.*, 2001; Ackerman, 2000).

Por su frecuencia, su intensidad y su trayectoria típica, los ciclones del Mar Caribe son los que más afectan al Istmo Centroamericano. Por otra parte, los ciclones tropicales originados en el Océano Pacífico alcanzan la intensidad de tormenta tropical o huracán a una distancia considerable de Centroamérica y sus trayectorias típicas hacia el oeste hacen muy poco probable que toquen tierra

en esta región. No obstante, los ciclones tropicales maduros que han logrado atravesar al Istmo Centroamericano desde el Mar Caribe han causado intensas lluvias en la costa Pacífica, principalmente en El Salvador y Guatemala. Dos ejemplos de lo anterior fueron los huracanes Irene (1971) que tomó el nombre de Olivia cuando pasó al Océano Pacífico, y Joan (1988) que se transformó en Miriam. Banichevich y Lizano (1998) encontraron que al darse la transición de El Niño Oscilación del Sur (ENOS)-cálido a ENOS-frío es cuando se dan interconexiones entre el Atlántico occidental y el Pacífico oriental cerca de Centroamérica, donde es más probable que sistemas ciclónicos atraviesen el istmo, principalmente a través del paso de Nicaragua (del Caribe hacia el Pacífico). También hallaron una notable disminución en la frecuencia de huracanes en el Caribe durante las fases cálidas del ENOS y un aumento durante las fases frías, confirmando lo encontrado por Gray (1984 a, b).

De acuerdo con los registros históricos del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) y del Centro Nacional de Huracanes de Miami, EUA, Costa Rica fue el único país en Centroamérica que durante el siglo XX no

TOPICOS METEOROLOGICOS Y OCEANOGRAFICOS

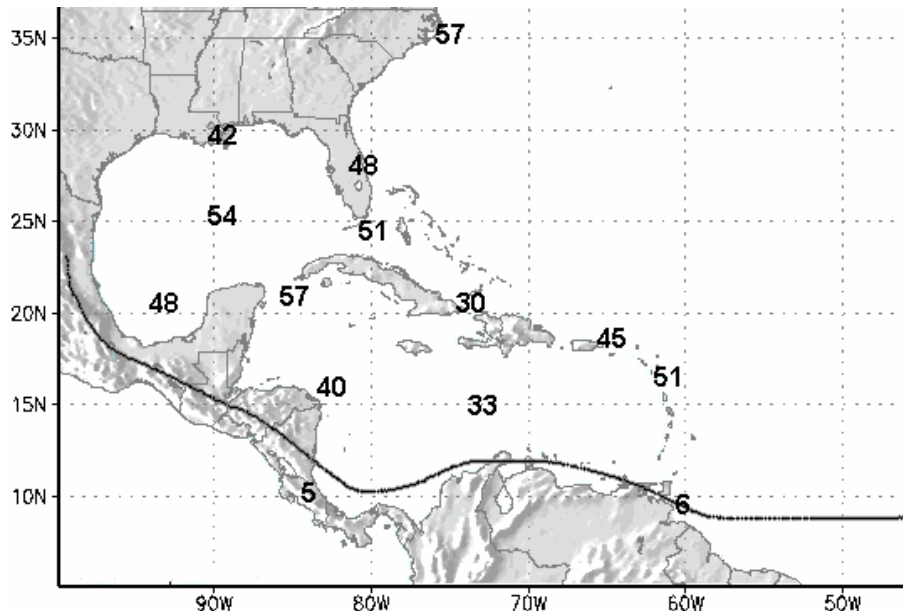


Figura 1. Distribución espacial de la probabilidad de un efecto directo de un ciclón tropical (tormenta o huracán). Al sur de la línea continua la probabilidad es baja, menor de 6% (Adaptado de Colón, 1969).

fue afectado directamente por el paso de un ciclón tropical. Si bien el país no ha percibido los efectos directos característicos del paso de un huracán (fuerte marejada, vientos mayores de 120 km/h, etc), han sido considerables -y en algunos casos mayores- los efectos indirectos de las intensas lluvias asociadas con las bandas en espiral, asociadas a su vez con temporales del Pacífico. Esto confirma la hipótesis de Grandoso (1976), quien determinó

que el efecto indirecto sobre la precipitación, debido a la orografía, es tanto o más importante que el efecto directo para periodos mayores de un día.

Un análisis estadístico de la frecuencia espacial de ciclones tropicales (Fig. 1) pone de manifiesto que El Salvador, Costa Rica y Panamá se encuentran en una posición geográfica privilegiada, lejos de la ruta de estos fenómenos; de hecho, la probabilidad de impacto directo es

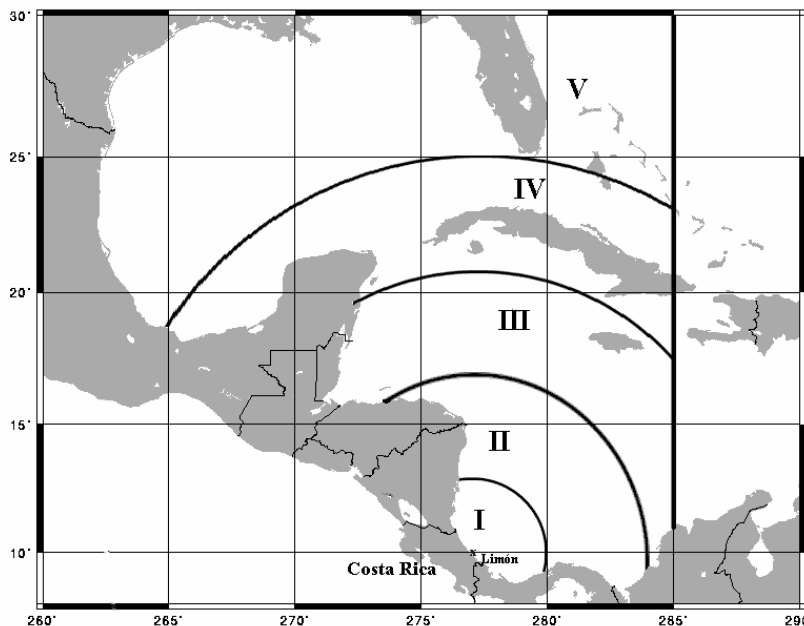


Figura 2. Regiones de Influencia Ciclónica (RICs) definidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Regiones de Influencia Ciclónica (RIC) sobre Costa Rica como función de la distancia en grados (valores entre paréntesis están en millas náuticas) definidas por el arco de ángulo centrado en las coordenadas 10°N-83°W. Estas regiones se encuentran graficadas en la Fig. 2.

Región	Área	Duración
1	3° (180)	Muy fuerte (Directa)
2	7° (420)	Fuerte
3	11° (720)	Moderada
4	15° (900)	Débil
5	> 15° (> 900)	Marginal

menor o igual al 5%. Nótese que la probabilidad aumenta hacia el norte, siendo mayor (57%) en las regiones comprendidas entre Yucatán y Cuba, y también en las costas del estado de Carolina del Norte, EUA. La máxima probabilidad de ocurrencia de ciclones sobre tierras centroamericanas se produce en la costa caribeña, en la frontera entre Nicaragua y Honduras (36-40%).

Lizano y Fernández (1996) realizaron análisis de frecuencias de ciclones tropicales en el área comprendida por las coordenadas 8-18°N y 70-85°W, concluyendo que un 20% de los huracanes estudiados tuvieron el potencial de haber afectado, directa o indirectamente, al país. Debido a lo anterior, se plantea como el objetivo principal de este trabajo el cuantificar la frecuencia de ciclones tropicales que afectaron Costa Rica durante el siglo XX, pues por diferentes motivos no todos los ciclones que pasaron por el área mencionada causaron daños significativos. Además se incorporan otros ciclones que no fueron considerados previamente y que también produjeron temporales en el Pacífico.

## 2. Datos y Metodología

Para este estudio se identificaron y definieron cinco Regiones de Influencia Ciclónica (RIC) sobre Costa Rica. Una RIC es una zona en el Mar Caribe en donde un determinado ciclón tropical puede ejercer algún tipo de influencia sobre Costa Rica. Estas zonas fueron definidas en función del grado de influencia (directa, fuerte, moderada, débil y marginal) y de la distancia en grados a

cierto punto de referencia. Cada arco formado está centrado en las coordenadas 10°N-83°W, cerca de puerto de Limón (Tabla 1 y Fig. 2). Es importante mencionar que para la ubicación de Costa Rica la influencia empieza a darse cuando el ciclón pasa al oeste del meridiano 75°O. Así que algunas de las regiones definidas en la Tabla 1 tienen como límite oriental este meridiano. Cabe destacar que algunas veces eventos en puntos muy alejados como la RIC-5 pueden producir una influencia mayor a la asignada, lo cual depende principalmente de la magnitud y tamaño del ciclón. Además se debe tener en cuenta que depresiones tropicales o bajas presiones que ocasionaron temporales moderados o fuertes no fueron tomados en cuenta en este estudio. Para fines prácticos, se entiende como temporal aquella condición meteorológica anormal caracterizada por temperaturas relativamente bajas, cielos predominantemente nublados y lluvias de variable intensidad a cualquier hora del día; dicho estado puede extenderse por lo general a una semana o menos.

Como fuentes de información histórica se utilizaron la base de datos de trayectorias de huracanes del Centro Nacional de Huracanes, EUA, el programa HURDAT del Servicio Meteorológico Francés (METEO-FRANCE), estudios técnicos del IMN, información de la prensa escrita y datos mensuales o diarios de lluvia de estaciones del IMN. Se debe destacar que dada la escasez de información meteorológica entre 1900 y 1940, los eventos ciclónicos que se describen durante ese periodo tienen asociado un valor intrínseco de incertidumbre, pues a pesar de contar con las trayectorias de esas décadas, no se contó con la

Tabla 2. Ciclones más intensos (según la presión y los vientos estimados en superficie) que afectaron indirectamente a Costa Rica durante el siglo XX.

Nombre	Fechas de Influencia	Presión Mínima (hPa)	Velocidad Máxima (km/h)
Gilbert	10-16 set, 1988	888	295
Allen	31 jul-11 ago, 1980	899	305
Camille	14-22 ago, 1969	905	305
Mitch	27-29 oct, 1998	905	285
Janet	21-29 set, 1955	914	270

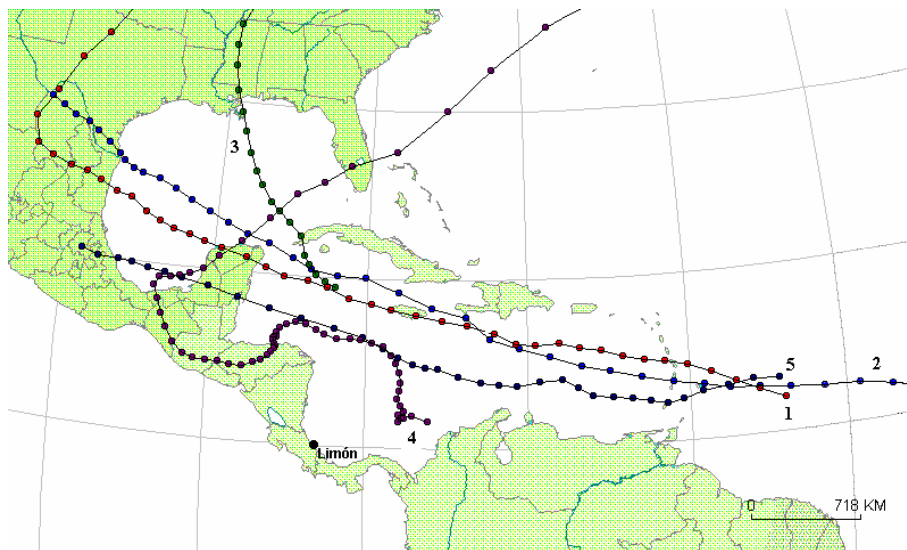


Figura 3. Trayectoria seguida por los huracanes más intensos que cruzaron el Mar Caribe produciendo temporales en Costa Rica. 1-Gilbert, 2-Allen, 3-Camille, 4-Mitch y 5-Janet.

suficiente información para efectuar la validación cruzada y verificar con seguridad cuáles de ellos produjeron consecuencias en el país.

### 3. Discusión y Resultados

En la Tabla 2 se muestra cuales fueron los 5 huracanes más intensos que afectaron indirectamente a Costa Rica durante el siglo XX, tomando como criterio la presión barométrica mínima en el ojo del ciclón y los vientos máximos en las paredes del mismo (ambos parámetros estimados en superficie). La Fig. 3 muestra las trayectorias que siguieron estos huracanes.

En la lista de la Tabla 2 el huracán Gilbert no sólo fue el huracán más intenso en afectar indirectamente al país sino que además fue el huracán más fuerte del siglo en

toda la cuenca del Océano Atlántico. Sin embargo esto no significa que Gilbert, haya sido el huracán que más daños causó en nuestra región. En este sentido los huracanes Cesar (julio, 1996), Joan (octubre, 1988) y Kattie (octubre, 1955) fueron los más costosos en términos económicos y de vidas humanas. Joan ocasionó 28 muertes y daños por \$420 millones. Cesar produjo la muerte de 26 personas y daños por \$105 millones. De Kattie se sabe que ocasionó 25 muertes y grandes inundaciones. Según la Tabla 4 otros huracanes con impactos bastante significativos fueron: Hazel (octubre, 1954), Camille (agosto, 1969), Irene (setiembre, 1971), y Fifi (setiembre, 1974). Es importante resaltar aquí al huracán Mitch, el cual fue el más devastador en Centroamérica durante el siglo pasado, en donde los mayores daños se registraron en Honduras y Nicaragua, dejando un total de 11 000 personas muertas y

Tabla 3. Ciclones tropicales del siglo XX que más se acercaron a Costa Rica. Distancias medidas con respecto las coordenadas 10°N-83°W cerca de Limón. Antes de 1950 se usó la notación xy\_zz para el nombre de los ciclones tropicales; donde x es el tipo de ciclón (T para tormenta tropical y H para huracán), y es el número secuencial del ciclón tropical en un año determinado y zz es el año de ocurrencia del ciclón.

Nombre	Fecha del punto más cercano	Distancia (km)
H7_06	9 de octubre, 1906	214
T17_33	28 de setiembre, 1933	217
Martha	25 de noviembre, 1969	205
Irene	18 de setiembre, 1971	145
Joan	22 de octubre, 1988	212
Bret	10 de agosto, 1993	125
Gert	15 de setiembre, 1993	140
Cesar	27 de julio, 1996	228

ALVARADO & ALFARO: Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX

Tabla 4. Ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica indirectamente durante el siglo XX. Las fechas listadas no se refieren exactamente al periodo de influencia sobre Costa Rica del ciclón tropical sino al periodo de actividad del mismo. Ver la leyenda de la Tabla 3 para una explicación más detallada sobre la nomenclatura usada antes de 1950 para los nombres de los ciclones tropicales.

<b>Año</b>	<b>Fechas</b>	<b>Nombre</b>	<b>Año</b>	<b>Fechas</b>	<b>Nombre</b>
1901	2-10 jul	T2_01	1926	12-15 nov	T11_26
1901	21 set-2 oct	T8_01	1928	7-17 ago	H2_28
1902	10-16 jun	T1_02	1931	5-12 set	H5_31
1903	6-16 ago	H2_03	1932	30 oct-14 nov	H10_32
1905	1-13 oct	H4_05	1933	27 jun-6 jul	H2_33
1906	8-9 oct	H7_06	1933	16-24 set	H15_33
1908	15-18 oct	H7_08	1933	28-30 set	T17_33
1909	22-30 set	T8_09	1933	1-9 oct	H18_33
1909	6-13 oct	H9_09	1934	4-21 jun	H2_34
1909	8-14 nov	T10_09	1935	23 set-2 oct	H4_35
1910	9-23 oct	H3_10	1935	18-26 oct	H5_35
1911	3-12 set	H3_11	1938	9-14 ago	H2_38
1912	11-25 nov	H6_12	1938	23-28 ago	H3_38
1913	22-28 jun	H1_13	1940	19-24 set	T6_40
1915	9-14 ago	H2_15	1940	20-23 oct	T7_40
1916	29 jun-10 jul	H1_16	1941	23-30 set	H4_41
1916	12-19 ago	H4_16	1942	21-31 ago	H2_42
1916	27 ago-2 set	H6_16	1942	4-11 nov	H10_42
1916	12-19 oct	H13_16	1943	20-22 oct	T10_43
1916	11-15 nov	H14_16	1944	24-28 jul	T2_44
1917	21-29 set	H3_17	1944	16-23 ago	H4_44
1919	2-15 set	H2_19	1944	19-22 set	H8_44
1920	16-23 set	H2_20	1944	12-23 oct	H11_44
1921	20-29 oct	H6_21	1945	29-31 ago	T6_45
1922	12-17 oct	T3_22	1945	2-5 oct	H10_45
1923	14-29 oct	T4_23	1945	10-15 oct	H11_45
1924	14-23 oct	H7_24	1947	9-15 ago	H2_47
1924	5-14 nov	H8_24	1947	9-16 oct	H8_47
1925	29 nov-4 dic	H2_25	1948	23-28 ago	H3_48
1926	11-17 set	T7_26	1948	18-25 set	H7_48
1926	3-4 oct	T9_26	1948	3-15 oct	H8_48
1926	14-24 oct	T10_26	1950	1-9 set	Easy

TOPICOS METEOROLOGICOS Y OCEANOGRAFICOS

Continuación tabla 4.

<b>Año</b>	<b>Fecha</b>	<b>Nombre</b>	<b>Año</b>	<b>Fecha</b>	<b>Nombre</b>
1950	13-19 oct	King	1971	11-20 set	Irene
1951	12-23 ago	Charlie	1973	18-21 ago	Brenda
1951	12-17 oct	Item	1974	29 ago-10 set	Carmen
1952	20-28 oct	Fox	1974	14-22 set	Fifi
1953	23-28 set	Florence	1975	13-24 set	Eloise
1954	31 ago-4 set	Dolly	1978	13-19 set	Greta
1954	5-18 oct	Hazel	1979	25 ago-7 set	David
1955	10-19 set	Hilda	1979	29 ago-14 set	Frederic
1955	21-29 set	Janet	1979	14-24 set	Henri
1955	14-19 oct	Katie	1980	31 jul-11 ago	Allen
1956	9-19 ago	Betsy	1980	7-16 nov	Jeanne
1956	30 oct-6 nov	Greta	1981	3-7 nov	Katrina
1958	30 ago-6 set	Ella	1985	30 ago-2 set	Elena
1960	9-16 jul	Abby	1985	17-20 nov	Kate
1960	29 ago-13 set	Donna	1988	10-16 set	Gilbert
1961	20-24 jul	Anna	1988	18-24 oct	Joan
1961	3-15 set	Carla	1989	13-22 set	Hugo
1961	27-31 oct	Hattie	1993	6-10 ago	Bret
1963	23-29 set	Edith	1993	14-17 set	Gert
1963	26 set-13 oct	Flora	1994	7-11 nov	Gordon
1964	20 ago-5 set	Cleo	1995	31 jul-6 ago	Erin
1964	8-16 oct	Isbell	1995	27 set-5 oct	Opal
1966	4-14 jun	Alma	1995	7-21 oct	Roxane
1966	21 set-11 oct	Ines	1996	24-29 jul	Cesar
1967	5-22 set	Beulah	1996	14-29 oct	Lilly
1968	13-21 oct	Gladys	1996	13-26 nov	Marco
1969	14-22 ago	Camille	1998	22 oct-5 nov	Mitch
1969	28 ago- 4 set	Francelia	1999	7-17 set	Floyd
1969	21-25 nov	Martha	2000	28 set-6 oct	Keith
1970	17-27 may	Alma	2001	11-19 set	Gabriel
1970	8-13 set	Ella	2001	29 oct-5 nov	Michelle
1971	5-18 set	Edith			

TOPICOS METEOROLOGICOS Y OCEANOGRAFICOS

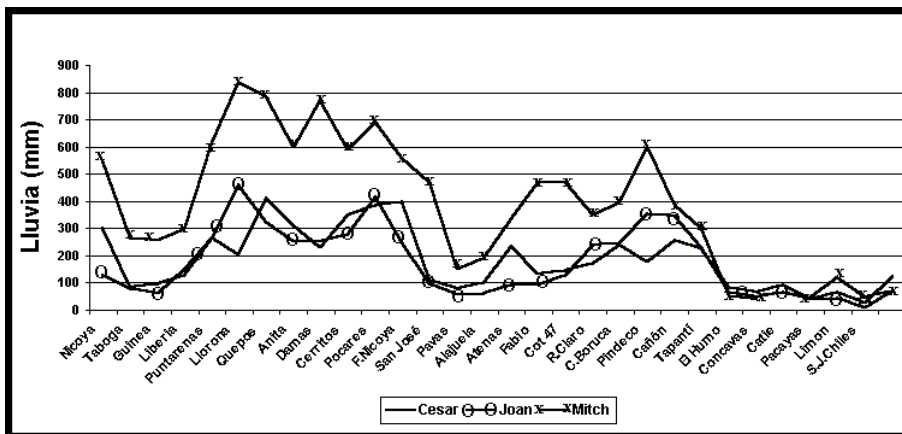


Figura 4. Lluvia acumulada en distintas estaciones meteorológicas de Costa Rica durante los temporales generados por los huracanes Joan, Cesar y Mitch.

pérdidas valoradas en más de 5 mil millones de dólares. De la Fig. 4 se observa que de los tres huracanes con mayor impacto en Costa Rica, Mitch fue el que produjo el temporal más fuerte, pese a ello sólo hubo 7 muertes y pérdidas por \$48 millones.

Como se mencionó anteriormente, ningún ciclón tropical pasó o impactó en forma directa a Costa Rica durante el siglo XX. Sin embargo, varios de ellos estuvieron a punto de hacerlo, como por ejemplo el huracán Joan en octubre de 1988. La Tabla 3 muestra todos

los ciclones (tormenta o huracán) que estuvieron a menos de 230 km de nuestras costas. Nótese que, tomando como referencia a la ciudad de Limón, los ciclones más próximos al país fueron las tormentas Bret y Gert, ambas en 1993. Es evidente, según lo anterior, que la frecuencia de ciclones cercanos a nuestras costas ha aumentado desde finales de la década de 1960, pues previo a este periodo tan solo dos ciclones estuvieron a menos de 230 km.

La Tabla 4 muestra el nombre de los 125 ciclones que afectaron indirectamente a Costa Rica durante el siglo

Tabla 5. Tabla de contingencia para el promedio de las anomalías de TSM en la región Niño 3 para SON(0) y la frecuencia anual de huracanes para el periodo 1901-2001. Las categorías usadas son Bajo lo Normal (BN), Dentro de lo Normal (DN) y Arriba de lo Normal (AN). Los valores mostrados en la tabla son frecuencias relativas.

		Frecuencia de Huracanes		
		BN	DN	AN
Niño 3	BN	0.1386	0.1287	0.0693
	DN	0.2277	0.0693	0.0297
	AN	0.2871	0.0297	0.0198

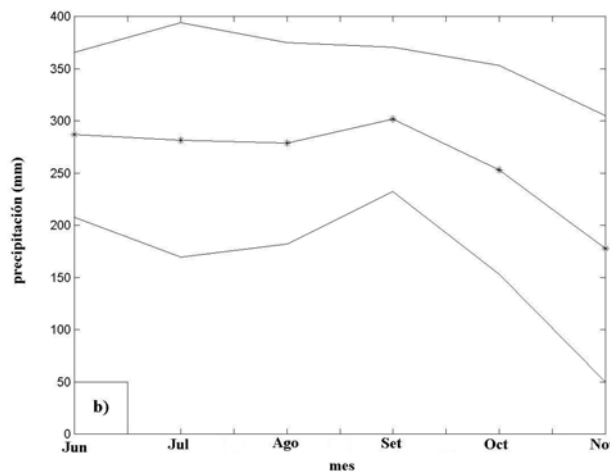
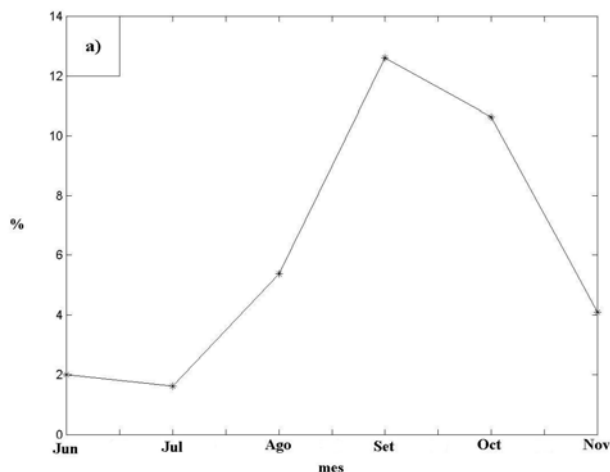


Figura 5. a) Frecuencia empírica, expresada como porcentaje, de los días de actividad ciclónica de la Tabla 4 para el periodo junio-noviembre. b) Precipitación mensual acumulada por el primer modo del análisis de componentes principales en Centroamérica (Alfaro, 2002).

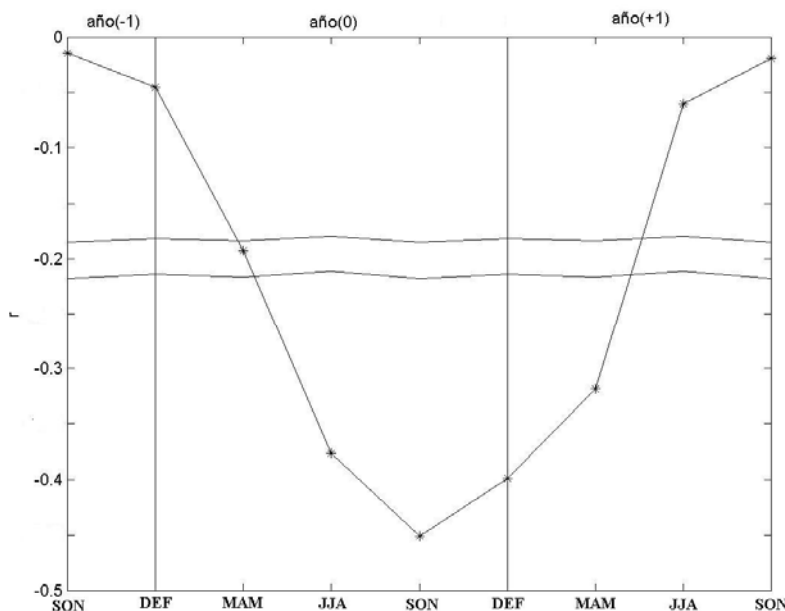


Figura 6. Función de Correlación Cruzada (línea con asteriscos) entre las distintas estaciones climáticas de las anomalías de la TSM para la región Niño 3 y la frecuencia anual de huracanes de la Tabla 4. Las líneas continuas representan los niveles de significancia al 90 y 95%.

XX. Detalles sobre la trayectoria de estos ciclones en el Caribe puede ser consultada en Banichevich y Lizano (1998); Goldenberg *et al.* (2001) y Lizano y Fernández (1996). De la Tabla 4 se nota que para el siglo XX hubo un promedio de 1.23 huracanes/año con una desviación estándar de 1.1 huracanes/año, además se observó un promedio 11.1 días de actividad ciclónica por año con una desviación estándar de 10.4 días/año. Los años que presentaron más días de actividad ciclónica fueron 1916, 1966, 1979 y 1996 con 40, 32, 42 y 36 días respectivamente.

En la Fig. 5a se muestra la probabilidad empírica de los días de actividad ciclónica para los meses de junio a noviembre, basada en la información de la Tabla 4. En la

Fig. 5b se observa los acumulados mensuales del ciclo anual predominante de la precipitación en Centroamérica (Alfaro, 2001 a). Si asumimos, en una forma muy grosera, que durante los días de actividad ciclónica la precipitación en Centroamérica se debe únicamente al ciclón tropical y se multiplican los acumulados mensuales de la Fig. 5b por los valores de probabilidad de la Fig. 5a, sumándolos posteriormente; se obtiene un estimado climatológico de la precipitación anual acumulada debido a los ciclones tropicales. Al hacer este cálculo se encontró un valor de aproximadamente 97.6 mm/año con un rango, dado por las curvas de una desviación estándar de la Fig. 5b, de 64.3 a 130.6 mm/año. Sin embargo estos valores presentan una gran variabilidad para casos particulares los cuales

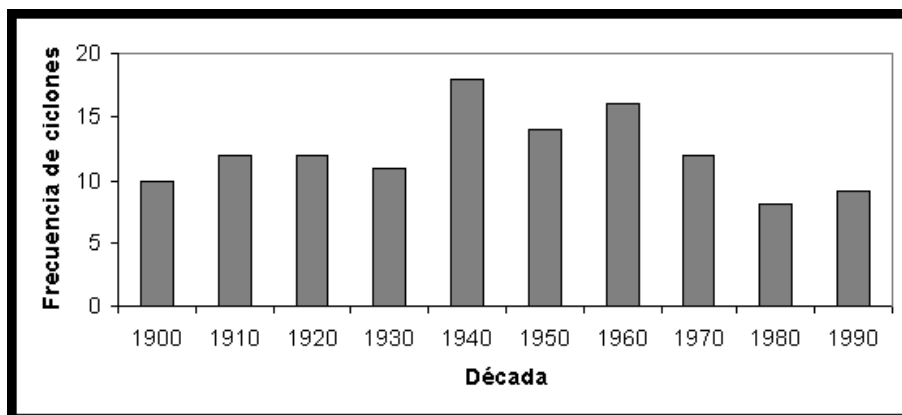


Figura 7. Frecuencia decadal de ciclones tropicales que afectaron indirectamente a Costa Rica durante el siglo XX.



dependen entre otras cosas de la ubicación geográfica de la estación meteorológica y de la frecuencia de días de actividad para un año en particular (Fig. 4). Para mostrar esto se puede tomar como ejemplo la probabilidad empírica de los días de actividad ciclónica para el año 1979 y multiplicarla por los acumulados mensuales de la estación de San José, Costa Rica, para ese mismo año; donde se obtiene un estimado de 411.4 mm.

Uno de los principales estudios sobre la modulación interanual de la frecuencia de ciclones tropicales en el ATN es el de Gray (1984 a, b). Este autor propuso que la influencia del Pacífico Tropical Este sobre el ATN, en escalas interanuales, se debe principalmente a que durante los eventos de El Niño (La Niña) aumenta (disminuye) la cortante vertical del viento en esta última región oceánica, lo cual no favorece (si favorece) la formación de huracanes. Este resultado fue confirmado por Taylor *et al.* (2002) al estudiar la precipitación en el Caribe, resaltando además que esta influencia es más marcada durante el segundo semestre del año, lo cual coincide con la temporada de huracanes. En la Fig. 6 se muestra la Función de Correlación Cruzada entre distintas estaciones climáticas de las anomalías de la TSM para la región Niño 3 y la frecuencia anual de huracanes de la Tabla 4. De esta figura notamos una correlación negativa máxima de  $-0.45$  entre los promedios del Niño 3 de SON y la frecuencia de huracanes del mismo año, aunque esta relación se extiende desde JJA(0) hasta MAM(+1) para valores de correlación significativos al 95%.

Al calcular la tabla de contingencia entre las anomalías de TSM en Niño 3 para SON(0) y la frecuencia de huracanes (Tabla 5) se nota que la correlación negativa está explicada principalmente por los pocos huracanes que se presentan en el Caribe cuando se tienen valores del Niño 3 Arriba de lo Normal (AN). Bajo este escenario (ENOS cálido) se tiene un poco más del 85% de probabilidad de tener una frecuencia de huracanes en el Caribe por debajo de lo normal (BN), alrededor de un 9% de que se presente dentro de lo normal (DN) y menos de un 6% de que sea por arriba de lo normal (AN). Además, en la Tabla 4 se observa que de los años no listados, o sea que no presentaron algún ciclón que afectara Costa Rica, el 64 % de ellos coincide con eventos de El Niño de acuerdo a los criterios de Mora y Amador (2000); Trenberth (1997) y Quinn *et al.* (1987). También que el año 1984 coincidió con un evento frío en el ATN y cálido en el Atlántico Tropical Sur (ATS), y que los años 1937 y 1962 coincidieron con eventos cálidos en el ATS (Alfaro, 2000; Alfaro y Soley, 1999). Esto concuerda parcialmente con lo expuesto por Chiang *et al.* (2000) que explican que cuando el calentamiento del ENOS no es muy intenso y se produce poca convección sobre la región del Niño 3, la posición de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) del Atlántico parece estar dominada por otros factores como lo es el gradiente meridional de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a través del ecuador, por lo que una

temperatura más cálida en el ATS respecto al ATN favorece una posición mas hacia el sur de la ZCIT y una mayor estabilidad sobre la región del ATN (Ruiz-Barradas *et al.*, 2000). En este mismo sentido el año 1916 coincidió con eventos fríos del ENOS y el ATS y los años 1926 y 1944 coincidieron con eventos cálidos en el ATN. Estos últimos años, junto con 1933, presentaron 4 o más ciclones tropicales que afectaron Costa Rica. Por último los picos del máximo en los periodogramas (no mostrados) de la frecuencia de huracanes por año y de los días de actividad ciclónica por año de la Tabla 4 se ubica ambos en la frecuencia de  $0.1287 \text{ año}^{-1}$ , es decir, en un periodo de aproximadamente 7.8 años, lo cual coincide con el modo de baja frecuencia de recurrencia de las fases cálidas del ENOS (Fernández y Pacheco, 2000).

La relación entre dos regiones oceánicas separadas por miles de kilómetros o por barreras terrestres (como es el caso del Mar Caribe y el Pacífico Ecuatorial del Este), podría deberse a la existencia de “puentes” atmosféricos que ayudan a explicar la teleconexión entre las regiones (Alexander *et al.*, 2002; Chiang *et al.*, 2000). Por ejemplo, en escalas decadales, Mestas-Núñez y Enfield (2001), encontraron que el ATN presenta una fuerte variación en el campo de la TSM que no es explicada por el ENOS. Alfaro (2002;2001) y Goldenberg *et al.* (2001) encontraron que, en esta escala temporal, la región del ATN está asociada muy fuertemente con la variabilidad multidecadal del Atlántico (Mestas-Núñez y Enfield, 1999), a través de correlaciones positivas. Este modo de variabilidad captura fluctuaciones climáticas multidecadales del Atlántico Norte consistentes con el forzamiento atmosférico local relacionado con la Oscilación del Atlántico Norte (OAN). Esto sugiere que eventos cálidos (fríos) en el Atlántico Norte se relacionan con una OAN negativa (positiva) y con eventos cálidos (fríos) en el ATN, lo que está relacionado con una mayor (menor) producción de huracanes en el Atlántico, esto al producir o inhibir convección por medio de cambios en las circulaciones de la atmósfera suprayacente en niveles altos y bajos sobre el ATN.

La Fig. 7 muestra la frecuencia decadal de los ciclones que produjeron temporales en Costa Rica. Se nota que las décadas más activas fueron las de 1940, 50 y 60 (calientes en la escala decadal) mientras que la más baja actividad se registró en las décadas de los años 1980 y 1990 (frías en la escala decadal). Adicionalmente, esta tendencia de menor frecuencia de ciclones se debe seguramente también al efecto que ejercieron las fases cálidas del ENOS ya que en ese periodo se presentaron los dos eventos más fuertes del siglo (1982-83 y 1997-98) y el más largo (1991-95), además del evento moderado del 1986-87. Esto además ayudaría a explicar porque en los años 1982, 1983 y 1997 no se produjeran ciclones tropicales en la cuenca del Mar Caribe. Cabe destacar que la razón entre condiciones de El Niño versus La Niña entre 1970 y 1999 fue de 10/7. Se debe mencionar que, según la prueba *t*, el valor de la media de la década de los años 40

(80) es marginalmente mayor (menor), al compararlo con el valor de la media del total de la serie. No se encontró evidencia estadística de que la varianza de alguna década fuera distinta del total de la serie según la prueba F.

Por último, es importante aclarar que este estudio no tomó en cuenta a los temporales asociados con sistemas de baja presión en el Caribe ya que el IMN no lleva un registro extenso de estos disturbios. Estos han ocasionado temporales tan severos como los de un ciclón organizado como el caso del sistema de baja presión que en setiembre de 1999 ocasionó en Guanacaste (noroeste del país) un temporal de gran magnitud. Este evento superó los registros históricos de lluvia en ese mes existentes hasta esa fecha. La evidencia histórica también ha demostrado que un sistema de baja presión con poco desplazamiento en el occidente del Mar Caribe produce un temporal de similar o de mayor magnitud que el ciclón que se formó a partir de esta baja presión, tal fue el caso de los ciclones Katie (1955), Jenny (1969) y Delia (1973), los cuales produjeron precipitaciones intensas en el país antes de que alcanzaran el grado de tormenta tropical.

#### 4. Conclusiones

Desde la década de 1980, la frecuencia de temporales asociados con ciclones tropicales en el Mar Caribe disminuyó a la mitad en comparación con mediados de siglo, lo cual puede ser visto como una consecuencia de la combinación de anomalías negativas de TSM en el ATN en la escala decadal y los fuertes eventos de El Niño que se desarrollaron entre 1980 - 1999, quienes limitaron y disminuyeron la cantidad de ciclones al aumentar la cortante vertical del viento sobre el ATN.

Si bien en el siglo XX (a diferencia del siglo XIX) ningún ciclón tropical pasó por Costa Rica, hubo varios casos que por su cercanía y rumbo causaron mucha expectación y alarma en la población, como por ejemplo los casos de los huracanes Joan (1988) y Cesar (1996). Sin embargo, el ciclón que más se acercó al país fue la tormenta Bret en 1993, cuyo centro pasó a unos 40 km al norte de la frontera con Nicaragua.

El ciclón más intenso en el Caribe fue el huracán Gilbert en 1988 de categoría 5, pero el que más efectos severos causó en el país fue Joan durante ese mismo año. A Mitch en 1998 se le considera el más desastroso a nivel centroamericano y el que más lluvias dejó en Costa Rica por efecto orográfico.

Del total de ciclones tropicales que se formaron en el siglo XX en toda la cuenca del Atlántico (incluyendo al Mar Caribe y Golfo de México), el 14% produjo efectos indirectos en el país.

Pocos eventos pasaron cerca del país (menos de 230 km) en la primera mitad del siglo, sin embargo este número se triplicó a partir de 1969. Esto podría ser un indicio de que cada vez más ciclones del Caribe se están formando y desarrollando en latitudes bajas (menores de

12°N), y que de continuar esta tendencia en el siglo XXI, el riesgo de un impacto directo para el país aumentaría, máxime que hay predicciones de variaciones en las temperaturas del mar y de la humedad que causarán una mayor cantidad de huracanes intensos. Aunque también este resultado podría deberse a información imprecisa durante la primera mitad del siglo XX.

Es importante destacar que la intensidad del evento ciclónico no es un factor indispensable para producir un temporal de considerables dimensiones, pues incluso un sistema de baja presión en el suroeste del Mar Caribe puede producir consecuencias significativas, como por ejemplo la Depresión Tropical 9 del año 2001, la cual afectó Costa Rica del 19 al 20 de setiembre. Además, no sólo los ciclones del Caribe son capaces de ocasionar temporales en la Vertiente del Pacífico, también huracanes que pasan fuera de esta cuenca lo pueden hacer, en particular los de mayor categoría (3, 4 ó 5 en la escala de intensidad Saffir-Simpson). Todo lo anterior lleva a la conclusión que la intensidad de un temporal en Costa Rica no necesariamente está directamente relacionada con la magnitud del evento ciclónico, sino también con la posición que este ocupe respecto al istmo y con su velocidad de avance sobre el Mar Caribe.

#### 5. Agradecimientos

Se agradece profundamente la colaboración que prestaron los meteorólogos Bernardo Zúñiga y Rafael Pacheco del IMN, quienes facilitaron los datos procesados de lluvias y una lista parcial de temporales. Este trabajo se realizó gracias al apoyo de los proyectos VI 805-96-279 y 112-99-305 de la Universidad de Costa y del Task2, CRN-TC3 (038)-IAI.

#### Resumen

Se estudia la frecuencia de ciclones tropicales que pasaron por el Mar Caribe y que afectaron indirectamente a Costa Rica durante el siglo XX. De un total de 125 ciclones, ninguno de ellos pasó sobre Costa Rica, siendo la tormenta tropical Bret en 1993 la que más se acercó. El huracán Gilbert en 1988, de categoría 5, fue el más intenso; sin embargo se considera al huracán Joan, durante ese mismo año, como el que causó efectos más severos sobre Costa Rica. Al huracán Mitch en 1998 se le cataloga como el más desastroso a nivel de Centroamérica y el que más lluvias dejó en Costa Rica por efecto orográfico. La década con mayor (menor) frecuencia de huracanes fue la de los años 40 (80), en donde la modulación de esta frecuencia podría deberse al efecto combinado de variaciones interanuales e interdecadales en el Pacífico Tropical del Este y en el Atlántico Tropical Norte. Se concluye que la intensidad de un temporal en Costa Rica debido a un huracán o una tormenta tropical no necesariamente está directamente relacionada con la magnitud del evento

ciclónico, sino también con la posición que éste ocupe respecto al istmo y con su velocidad de avance sobre el Mar Caribe.

## Referencias

- Ackerman, J., 2000: Una mirada nueva sobre los océanos. *National Geographic*. Octubre, 86-115.
- Alexander, M., I. Blandé, M. Newman, J. Lanzante, N. Lau y J. Scott, 2002. The atmospheric bridge: the influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans. *J. Climate*, **15**, 1-30.
- Alfaro, E., 2002 a. Some Characteristics of the Annual Precipitation Cycle in Central America and their Relationships with its Surrounding Tropical Oceans. Aceptado en Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, 9(2),88-103.
- Alfaro, E., 2000: Response of Air Surface Temperatures over Central America to Oceanic Climate Variability Indices. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, 7(2), 63-72.
- Alfaro, E., 2000. Eventos Cálidos y Fríos en el Atlántico Tropical Norte. *Atmósfera*, 13(2), 109-119.
- Alfaro, E. y F. Soley, 1999. Eventos Cálidos y Fríos en el Atlántico Tropical Sur. *Tóp. Meteor. Oceanogr.*, 6(2), 65-70.
- Banichevich, A. y O. Lizano, 1998. Interconexión a nivel ciclónico-atmosférico entre el Caribe y el Pacífico centroamericanos. *Rev. Biol. Trop.*, **46**(Supl. 5), 9-22.
- Chiang, J., Y. Kushnir y S. Zebiak, 2000. Interdecadal changes in eastern Pacific ITCZ variability and its influence on the Atlantic ITCZ. *Geophys. Res. Lett.*, 27(22), 3687-3690.
- Colon, J., 1969. Aspectos climatológicos de los ciclones tropicales. Organización Meteorológica Mundial, TP 112, p. 220-235.
- Fernández, I. y J. Pacheco, 2000. Bases para la predicción de ENSO, Cap. 5. En: *El Niño: climatología, efectos y predicción*. R. García y E. Hernández, eds. Universidad Coplutense de Madrid. 93-132.
- Goldenberg, S., C. Landsea, A. Mestas-Núñez y W. Gray, 2001. The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and Implications. *Science*, **293**, 474-479.
- Grandoso, H., 1976. Precipitaciones intensas e inundaciones en áreas tropicales de América Latina. Seminario de Formación, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, p. 43-52.
- Gray, C., 1993: Regional meteorology and Hurricanes. In: *Climate Change in the Intra-Americas Sea*. G. Maul, Ed., Eduard Arnold, 87-99.
- Gray, W., 1984a: Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influences. *Mon. Weather Rev.*, **112**, 1649-1668.
- Gray, W., 1984b: Atlantic seasonal hurricane frequency. Part II: Forecasting its variability. *Mon. Weather Rev.*, **112**, 1669-1683.
- Lizano, O., F. Ocampo, L. Alvarado, R. Vega y J. Puig, 2001. Evaluación de modelos numéricos de tercera generación para el pronóstico del oleaje en Centroamérica y México. *Top. Meteor. Oceanogr.*, **8**(1), 40-49.
- Lizano, O y W. Fernández, 1996. Algunas características de las tormentas tropicales y de los huracanes que atravesaron o se formaron en el Caribe adyacente a Costa Rica durante el periodo 1886-1988. *Top. Meteor. Oceanogr.*, 3(1), 3-10.
- Mestas-Núñez, A. y D. Enfield, 2001. Eastern Equatorial Pacific SST variability: ENSO and non-ENSO components and their climatic associations. *J. Climate*, **14**, 391-402.
- Mestas-Núñez, A. y D. Enfield, 1999. Rotated global modes of non-ENSO sea surface temperature variability. *J. Climate*, **12**, 2734-2746.
- Mora, I. y J. Amador, 2000. El ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe. *Tóp. Meteor. Oceanogr.*, 7(1), 27-38.
- Quinn, W., V. Neal y S. Antúnez, 1987. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J. Geophys. Res.*, 92(C13), 14449-14461.
- Ruiz-Barradas, A., J. Cartón y S. Nigam, 2000. Structure of interannual-to-decadal variability in the tropical Atlantic sector. *J. Climate*, **13**, 3285-3297.
- Taylor, M., D. Enfield and A. Chen, 2002. Influence of the tropical Atlantic versus the tropical Pacific on the Caribbean rainfall. *Journal of Geophysical Research*, 107(C9).
- Trenberth, K., 1997. The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771-2777.