

Eventos cálidos y fríos en el Atlántico Tropical Norte

ERIC J. ALFARO

Centro de Investigaciones Geofísicas y DFAOP-Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

(Manuscrito recibido el 16 de mayo, 1999; aceptado en forma final el 30 de junio, 1999)

RESUMEN

Se cuantifican los eventos cálidos y fríos en la región del Atlántico Tropical Norte, definida entre los 6-22° N y los 15-80° W, por medio del uso de los índices normalizados de temperatura superficial del mar (TSM). Se definió como evento cálido (frío) a aquel período de tiempo en el cual el índice de TSM, suavizado con un promedio móvil de cinco meses, permanece por encima (abajo) del cuarto (segundo) quintil por seis o más meses. La ocurrencia de eventos se mostró como aperiódica y con duraciones de gran variabilidad. Del período total de estudio, los eventos fríos ocuparon en promedio un 17% y los cálidos un 15.5%. En general, se notó que el primer semestre del año coincide con la mayoría de los comienzos tanto de eventos fríos como cálidos y que el segundo semestre coincide con la mayoría de los finales de eventos fríos y cálidos.

ABSTRACT

The warm and cold events in the Tropical North Atlantic (6-22°N, 15-80°W) region are quantified using sea surface temperature (SST) normalized indices. A warm (cold) event was defined if the 5-month running mean index was above (below) the fourth (second) quintile for six or more months. The event occurrence was non-periodic and the durations showed great variability. Warm events occur 17% of the time and cold events occur 15.5% of the time. It was noticed that in general warm and cold events tend to begin during the first semester of the year and end during the second semester.

1. Introducción

Estudios recientes, tales como los de Trenberth (1997) y Mora y Amador (1999), definen, bajo distintos criterios e índices, la duración temporal en meses de los eventos fríos y cálidos del fenómeno conocido como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). A pesar de que el Océano Atlántico Tropical también presenta una variación interanual importante (Philander, 1990), se han hecho pocos estudios para definir sus eventos fríos y cálidos (Carton y Huang, 1994). La importancia de la definición de estos eventos radica en que actualmente se ha probado que el Océano Atlántico ejerce una marcada influencia sobre los campos de precipitación en ciertas regiones del continente americano (Bertacchi *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 1998; Enfield, 1996).

Específicamente sobre la región centroamericana, Alfaro y Cid (1999) y Enfield y Alfaro (1999), probaron que la mayor influencia sobre la precipitación mensual acumulada la ejerce la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región del Atlántico Tropical Norte o ATN (6-22° N, 15- 80° W), a través de correlaciones positivas. Esta misma región oceánica también domina el inicio de la estación lluviosa sobre la región, adelantándola (retrasándola) durante sus fases cálidas (frías) (Alfaro *et al.*, 1998). Por último, Gray (1984a, b), encontró un incremento (disminución) en el número de huracanes en el Caribe bajo condiciones cálidas (frías) en la región del Océano Atlántico Tropical, lo cual dependiendo de su posición relativa al Istmo Centroamericano, está relacionado con la cantidad de precipitación y sus efectos sobre Centroamérica (Banichevich y Lizano, 1998).

Debido a lo expuesto anteriormente y con el fin de ayudar a posteriores análisis de series de tiempo de datos hidrometeorológicos en la región centroamericana, se traza como objetivo de este trabajo el estimar la duración temporal, en meses, de los eventos cálidos y fríos en la región del ATN, haciendo uso de datos de TSM.

2. Datos y Metodología

2.1 Índices Oceánicos

El área oceánica utilizada para la construcción del índice de TSM del Atlántico Tropical Norte fue la misma usada por Enfield (1996), definida entre los 6-22° N y los 15-80° W, debido a que ésta ha probado tener la mayor influencia sobre la precipitación en Centroamérica (Fig. 1a). El índice fue calculado como la anomalía estandarizada del promedio de los puntos de la rejilla dentro del área geográfica antes descrita. En este trabajo se utilizaron y compararon dos versiones del mismo índice. La primera es la de Smith *et al.* (1996), los cuales utilizaron un conjunto de datos de TSM en una cuadrícula de 2° x 2°, a partir del conjunto de datos COADS (Woodruff *et al.*, 1987) y la segunda es la de Kaplan *et al.* (1998), los cuales utilizaron principalmente los registros históricos de la Oficina Meteorológica del Reino Unido en un arreglo de 5° x 5°. De aquí en adelante estas series de tiempo serán referidas como ATNS y ATNK respectivamente. Ambas versiones de los índices fueron obtenidas del Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (AOML), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos de América.

El período disponible para la serie ATNS comprendió entre enero de 1950 y abril de 1997 y para la serie ATNK comprendió entre enero de 1856 y diciembre de 1991.

2.2 Metodología

Como primer paso se procedió al análisis exploratorio de los datos, para corregir posibles tendencias y puntos atípicos. Luego, las series de tiempo fueron suavizadas con un promedio

móvil de 5 meses y se les calculó los quintiles a ambas series. Se definió como evento frío (cálido) a aquellos períodos mayores o iguales a seis meses en los que dichos promedios móviles fueran inferiores (superiores) a los valores del segundo (cuarto) quintil, lo que permite una estimación robusta de dichos períodos (Graedel y Kleiner, 1985). Por último se analizó el periodograma de las series para detectar alguna posible periodicidad.

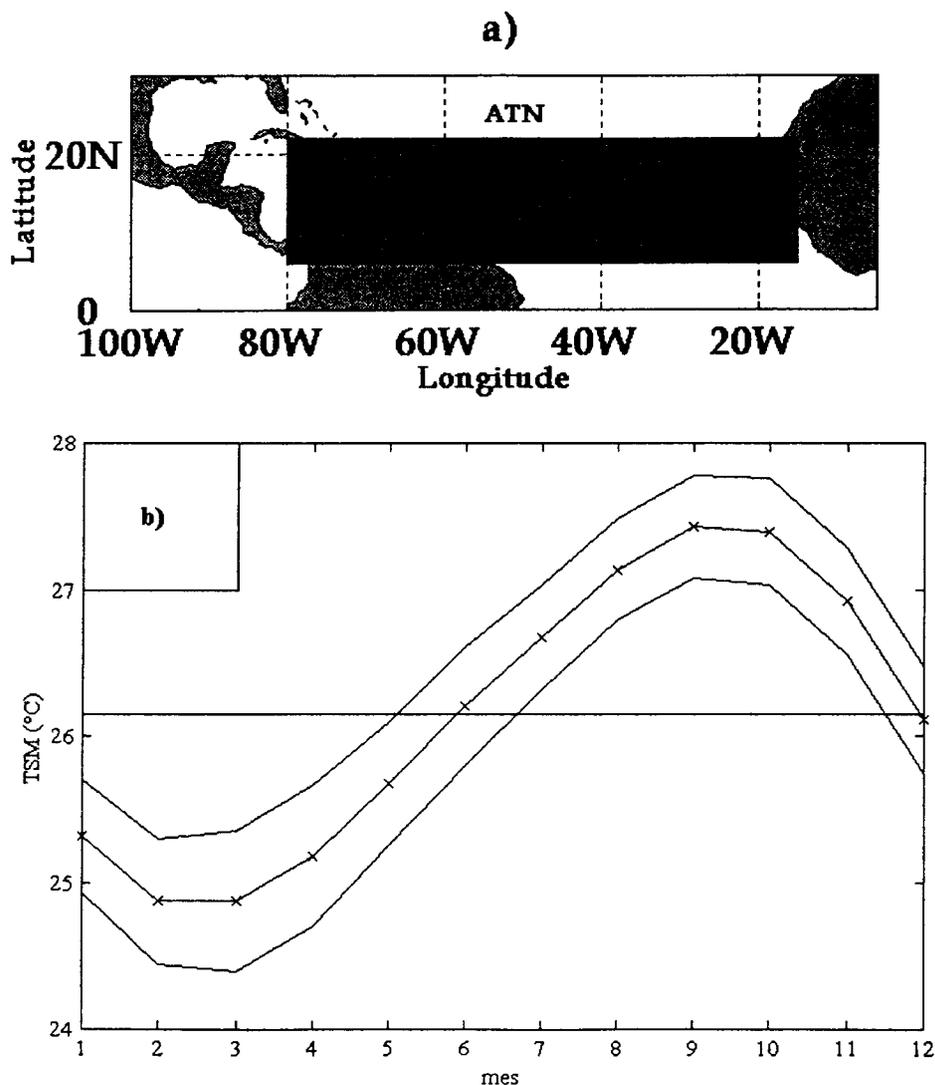


Fig. 1. a) Area oceánica usada para la construcción del índice ATN. b) Ciclo anual (línea con cruces) de la región del índice ATN. Las bandas representan una desviación estándar y la línea horizontal el promedio anual.

3. Resultados

La serie de ATNS no presentó ni tendencias ni datos atípicos que destacar, mientras que la serie del ATNK presentó una tendencia lineal positiva significativa al 95 %, la cual fue sustraída. La correlación entre ambas en su período común (del 01/1950 al 12/1991) fue de 0.96, lo que denota buena coherencia entre ellas. En la Figura 1b, se presenta el ciclo anual de la serie ATNS (el de la serie ATNK es idéntico). Esta región presenta un promedio anual de 26.1°C y sigue el

ciclo solar de acuerdo a los equinoccios de primavera y otoño boreal, pues presenta un mínimo durante el mes de marzo y un máximo durante el de septiembre.

Las series de tiempo con los respectivos límites de los quintiles usados se muestran en las Figuras 2 y 3. Nótese que aunque hay períodos que sobrepasan los valores del segundo y cuarto quintil con valores similares a los de los eventos fríos y cálidos, éstos fueron por períodos menores a seis meses.

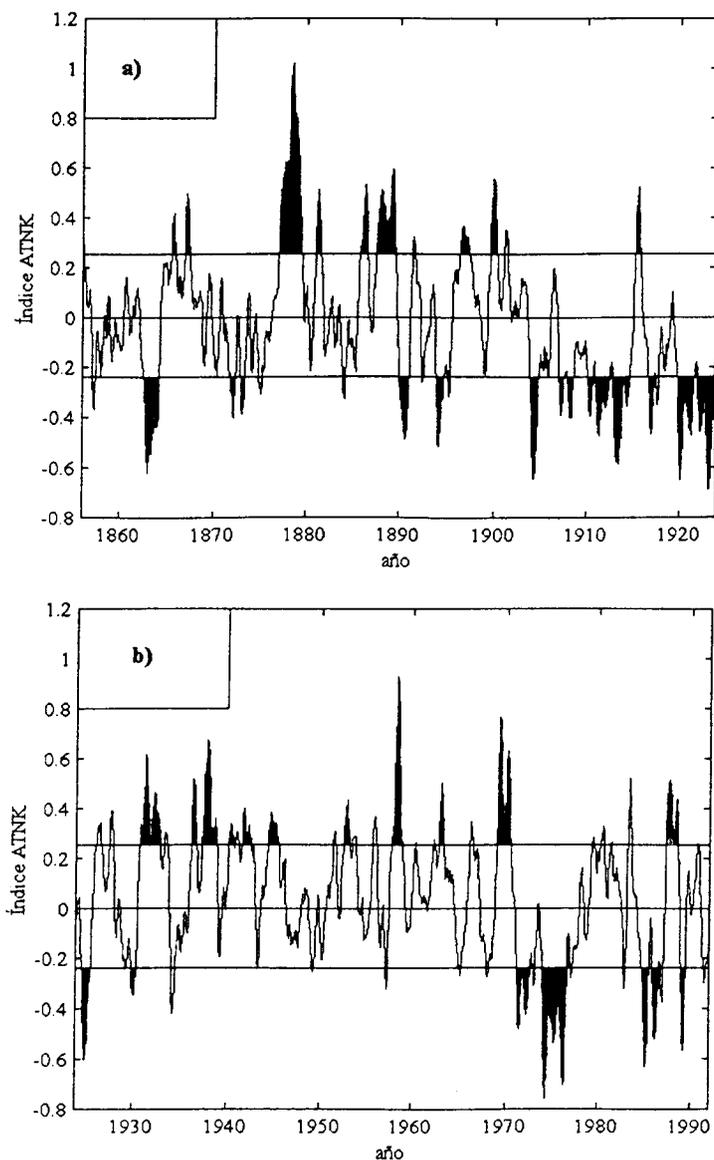


Fig. 2. Índice ATNK, suavizado con una media móvil de 5 meses, para el período a) 01/1856-01/1924 y b) 02/1924-12/1991. Las líneas horizontales superior e inferior representan el valor del límite entre el cuarto y quinto quintiles y entre el primero y segundo quintiles respectivamente. Las áreas sombreadas representan los eventos cálidos y fríos.

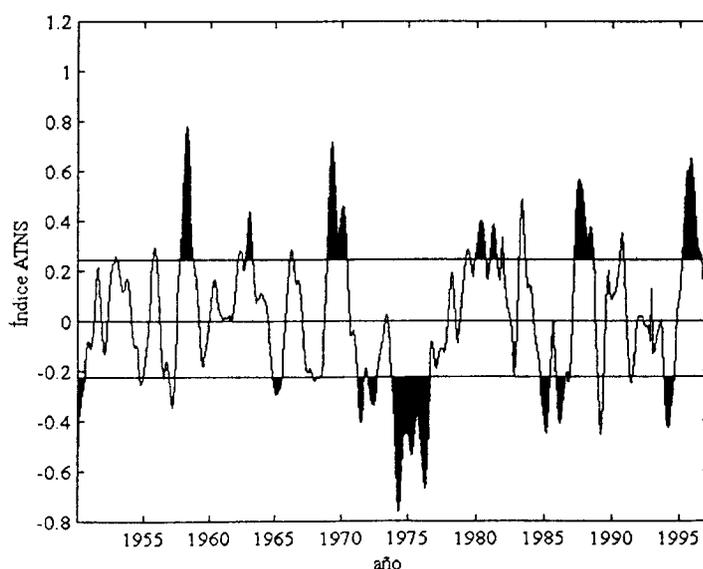


Fig. 3. Índice ATNS, suavizado con una media móvil de 5 meses, para el período 01/1950-04/1997. Las líneas horizontales superior e inferior representan el valor del límite entre el cuarto y quinto quintiles y entre el primero y segundo quintiles respectivamente. Las áreas sombreadas representan los eventos cálidos y fríos.

La duración de los eventos fríos y cálidos de ambas series se detallan en las Tablas 1 y 2. No se encontró diferencia estadística al 95% entre la duración promedio de los eventos fríos y cálidos para una misma serie, ni entre la duración promedio de un evento, ya sea cálido o frío, entre las dos series. Del período total de estudio, los eventos fríos ocuparon un 18% para la serie ATNK y un 16% para la serie ATNS y los eventos cálidos ocuparon un 16% para la serie ATNK y un 15% para la serie ATNS.

Tabla 1. Eventos cálidos y fríos en la región del ATN, definidos a partir del índice ATNK, para el período 01/1856-12/1991. Las fechas se usan para denotar eventos consecutivos en los cuales el índice no cambió de signo.

Eventos Fríos		Eventos Cálidos	
Período, Mes (Año)	Duración (meses)	Período, Mes (Año)	Duración (meses)
Oct(1862)-May(1864)	20	Ago(1865)-Ene(1866)	6 ▾
Dic(1871)-Jun(1872)	7	Ene(1867)-Jul(1867)	7 ▲
Ene(1873)-Jun(1873)	6	Feb(1877)-Jul(1879)	30
Feb(1890)-Feb(1891)	13	Feb(1881)-Ago(1881)	7
Feb(1894)-Dic(1894)	11	Nov(1885)-Set(1886)	11
Ene(1904)-Nov(1904)	11	Ago(1887)-Ago(1889)	25
Mar(1907)-Ago(1907)	6 ▾	Ago(1896)-Jul(1897)	12
Feb(1908)-Ago(1908)	7 ▲	Oct(1899)-Jun(1900)	9
Abr(1910)-Set(1910)	6 ▾	May(1915)-Nov(1915)	7
Feb(1911)-Jul(1912)	18 ⚡	May(1926)-Oct(1926)	6
Dic(1912)-Set(1914)	22 ▲	Nov(1930)-Dic(1932)	26
Nov(1916)-Jun(1917)	8	Abr(1936)-Oct(1936)	7 ▾
Dic(1919)-Set(1921)	22 ▾	Jun(1937)-Nov(1938)	18 ▲
Feb(1922)-Nov(1923)	22 ▲	Mar(1940)-Oct(1940)	8 ▾
Nov(1924)-Set(1925)	11	Set(1941)-Ago(1942)	12 ▲
Ene(1930)-Jul(1930)	7	Jun(1944)-Jul(1945)	14
Abr(1971)-Ago(1972)	17	Ago(1952)-Mar(1953)	8
Ene(1974)-Ago(1976)	32	Nov(1957)-Dic(1958)	14
Nov(1984)-Jul(1985)	9 ▾	Dic(1962)-May(1963)	6
Dic(1985)-Ago(1986)	9 ▲	Feb(1969)-Jul(1970)	18
Ene(1989)-Jun(1989)	6	May(1987)-Ago(1988)	16
promedio	12.8	promedio	12.7
dev. est.	7.3	dev. est.	7.2

Tabla 2. Eventos cálidos y fríos en la región del ATN, definidos a partir del índice ATNS, para el período 01/1950-04/1997. Las flechas se usan para denotar eventos consecutivos en los cuales el índice no cambió de signo.

Eventos Fríos		Eventos Cálidos	
Período, Mes (Año)	Duración (meses)	Período, Mes (Año)	Duración (meses)
Feb(1950)-Jul(1950)	6	Dic(1957)-Nov(1958)	12
Ene(1965)-Ago(1965)	8	Nov(1962)-May(1963)	7
Ene(1968)-Jul(1968)	7	Ene(1969)-Jun(1970)	18
Abr(1971)-Oct(1971)	6 ▾	Ene(1980)-Set(1980)	9 ▾
Feb(1972)-Set(1972)	8 ▲	Feb(1981)-Jul(1981)	6 ▲
Dic(1973)-Set(1976)	34	May(1987)-Set(1988)	17
Oct(1984)-Jun(1985)	9 ▾	Abr(1995)-Set(1996)	18
Ene(1986)-Ago(1986)	8 ▲		
Ene(1994)-Ago(1994)	8		
promedio	10.4	promedio	12.4
desv. est	8.9	desv. est	5.2

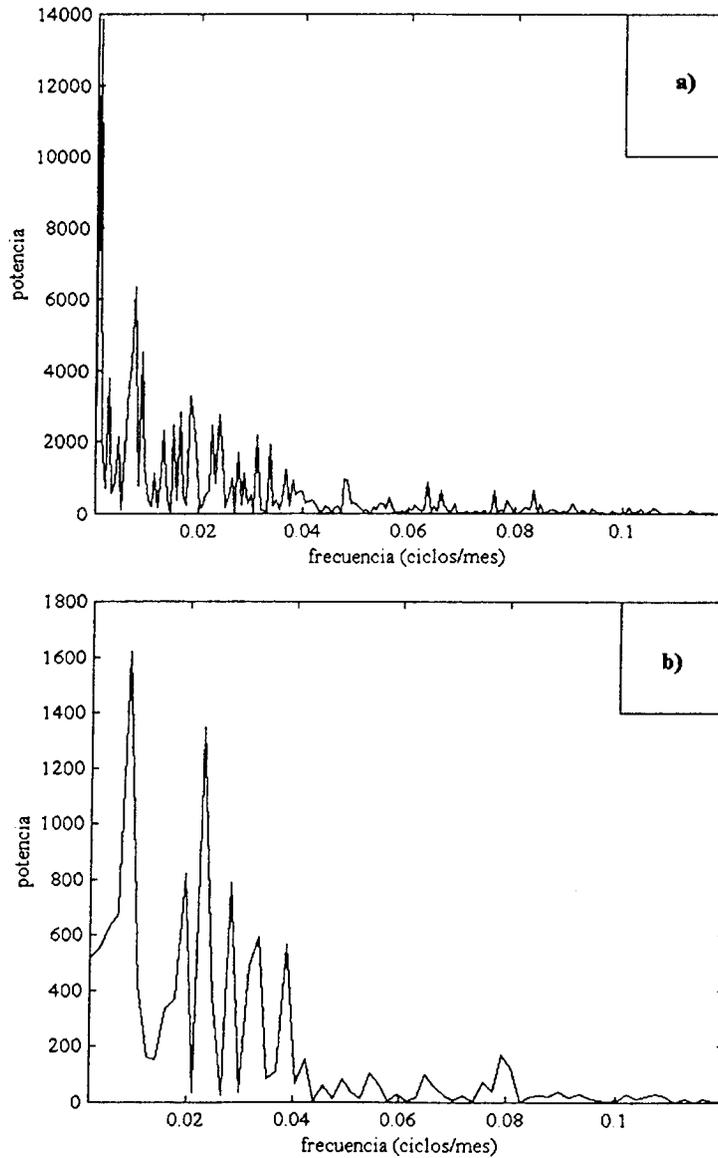


Fig. 4. Periodograma de la serie a) ATNK y b) ATNS.

Para ambas series, la fecha más probable de inicio de los eventos fríos es el semestre comprendido entre diciembre y mayo con un 89% de ocurrencia para la ATNS y un 81% para la ATNK. La fecha más probable de finalización del mismo evento se encontró durante el semestre comprendido entre junio y noviembre con un 100% de ocurrencia para la serie ATNS y un 86% para la ATNK. Para los eventos cálidos, la serie ATNK no presentó un semestre más probable para la inicialización de los mismos, mientras que para la serie ATNS se notó que el 86% de los eventos se iniciaron durante el semestre entre diciembre y mayo. Para la finalización de estos eventos ambas series presentaron como semestre más probable el comprendido entre junio y noviembre con un 76% de ocurrencia para la serie ATNK y un 86% para la serie ATNS. Esto se puede ligar con el ciclo anual de la serie de TSM en el área del índice (Fig. 1b) en donde el primer semestre, que contiene valores menores al promedio, coincide con la inicialización tanto de eventos fríos como cálidos y el segundo semestre, con valores mayores al promedio coincide con la finalización de eventos fríos y cálidos.

Los años 1969, 1995 y 1996, los cuales coinciden con eventos cálidos, produjeron en el Atlántico 18, 19 y 15 ciclones tropicales respectivamente, lo cual es un valor significativamente mayor al promedio de 9.8 ciclones por año del período 1949-1996 (Banichevich y Lizano, 1998).

Por último, en la Figura 4 se presenta el periodograma de ambas series en donde no se nota ninguna periodicidad importante que destacar, ajustándose bien a la prueba de AR(1) del ruido rojo con coeficiente $\Phi_1 = 0.98$ para ambas series (Soley, 1988; 1987).

4. Discusión y Conclusiones

Por medio de un análisis estadístico sencillo se pudo determinar la ocurrencia y duración de los eventos cálidos y fríos en el región del ATN. La ocurrencia de estos eventos mostró ser un fenómeno aperiódico (Figs. 2, 3 y 4) y la duración de los mismos presentó una gran variabilidad (Tablas 1 y 2).

El presente análisis difiere del de Carton y Huang (1994), debido a que ellos usaron un área oceánica más austral y oriental para la producción de su índice (2° N- 6° S, 20° W- 10° E) y además, ellos sólo estimaron los eventos cálidos. Debido a lo anterior, el presente análisis presenta una concordancia con su trabajo sólo para los años 1963, 1981, 1987 y 1988. Por la misma razón expuesta arriba, también está ausente de las Tablas 1 y 2 el año 1984 como evento cálido (Carton y Huang, 1994; Mechoso y Lyons, 1988; Philander, 1990).

El principal mecanismo de relación entre los eventos cálidos y fríos en el ATN y la región centroamericana lo postuló Knaff (1997). Él encontró, por medio de una cadena de interconexiones a través de la Vaguada Tropical Troposférica Alta, que anomalías positivas (negativas) de TMS están relacionadas con debilitamientos (reforzamientos) del flujo alisio asociado al anticiclón subtropical del Atlántico Norte. Estos debilitamientos y reforzamientos están directamente relacionados con los eventos de precipitación en Costa Rica (Alfaro, 1998). En las Figuras 5a y b se muestra el porcentaje de la frecuencia de días con precipitación en función de la dirección del viento promedio diario para las estaciones de Palmar Sur y Fabio Baudrit en la Vertiente Pacífica de Costa Rica. Se puede apreciar que los eventos de precipitación están relacionados con anomalías del oeste (Figs. 6a y b), del flujo alisio del este (Figs. 5a y b). En la Figura 5c, se muestra el caso de la estación de Limón, ubicada en la Vertiente Caribe de Costa Rica. Nótese que a pesar de que la Figura 5c muestra una condición similar a la de las Figuras 5a y b, los reforzamientos anómalos del flujo alisio también contribuyen con los eventos de la precipitación (Fig. 6c).

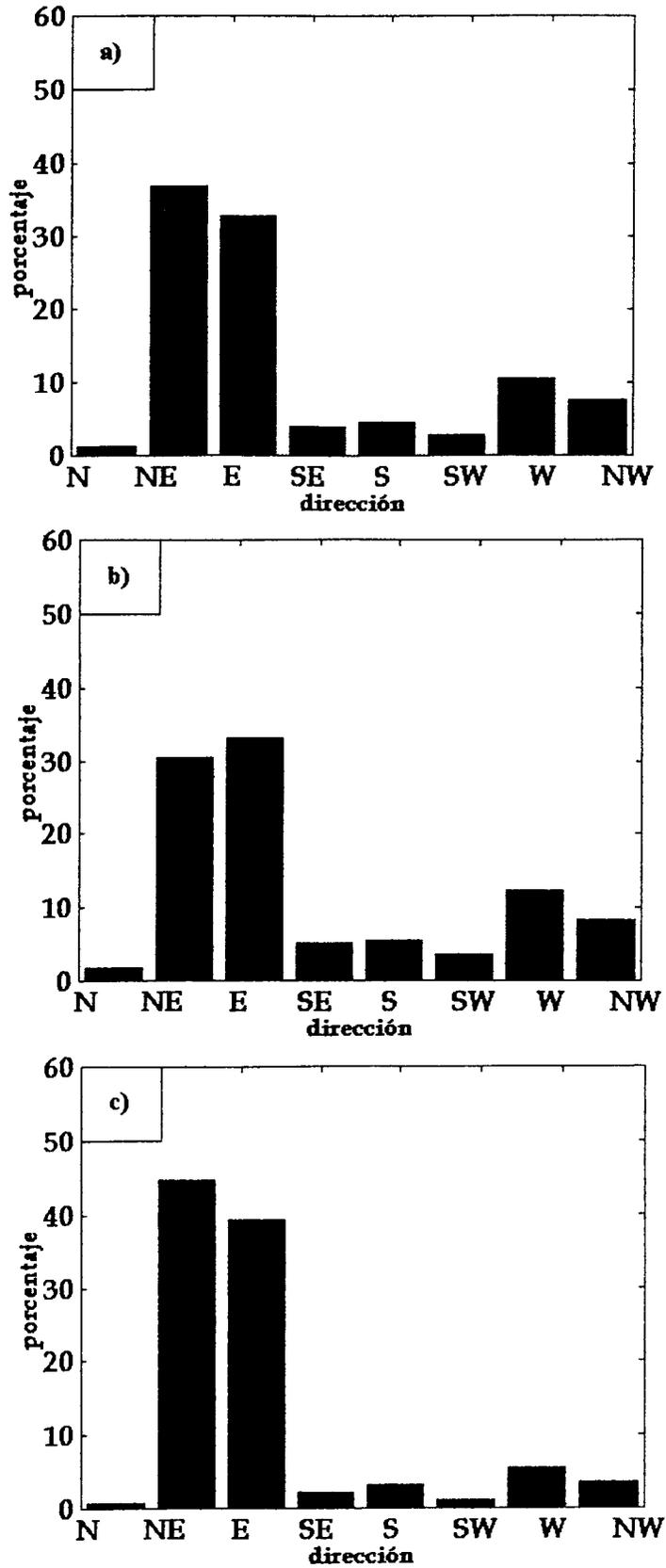


Fig. 5. Porcentaje de la frecuencia de días con precipitación para las estaciones de a) Palmar Sur ($8^{\circ} 57' N-83^{\circ} 28' W$), b) Fabio Baudrit ($10^{\circ} 1' N-84^{\circ} 16' W$) y c) Limón ($10^{\circ} 0' N-83^{\circ} 3' W$) en función de la dirección del viento en la estación sinóptica del aeropuerto Juan Santamaría ($10^{\circ} 0' N-84^{\circ} 12' W$), para el período 1986-1996.

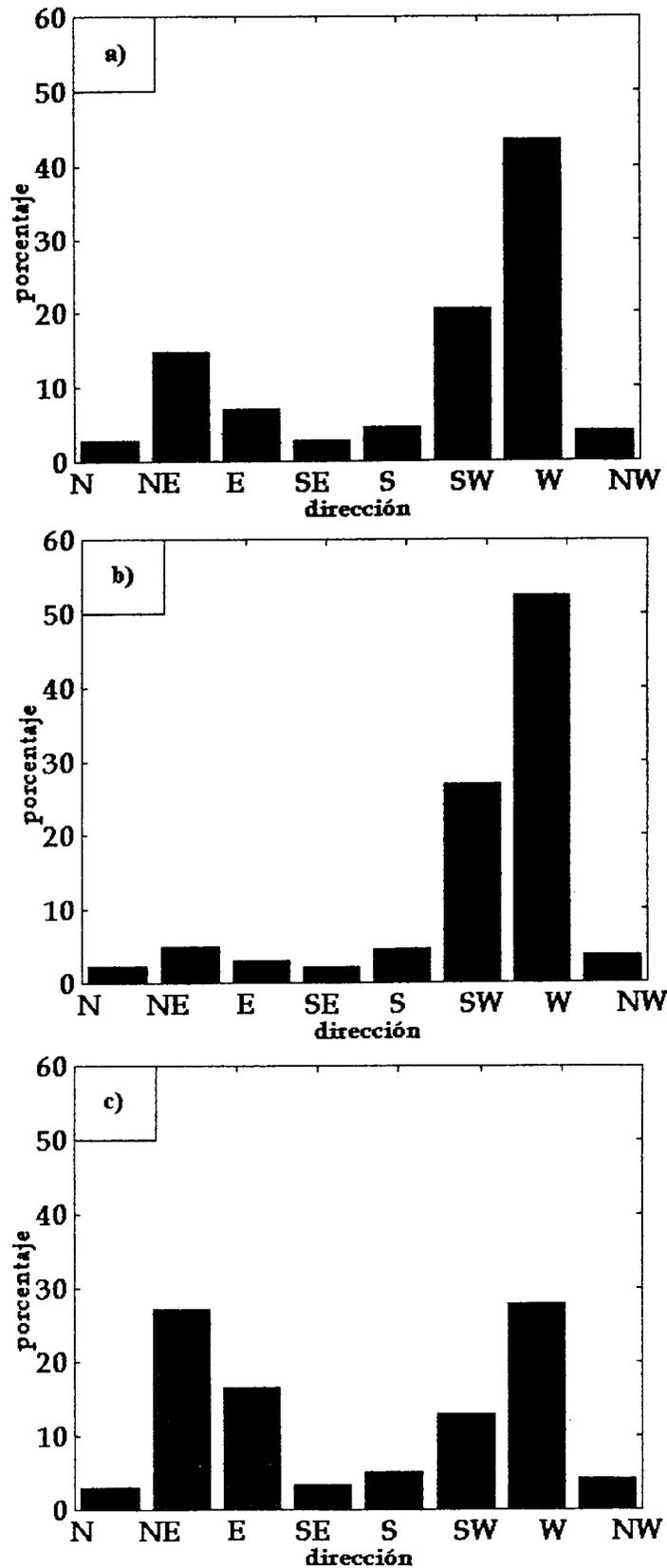


Fig. 6. Porcentaje de la frecuencia de días con precipitación para las estaciones de a) Palmar Sur (8° 57' N-83° 28' W), b) Fabio Baudrit (10° 1' N-84° 16' W) y c) Limón (10° 0' N-83° 3' W) en función de la dirección de la anomalía del viento en la estación sinóptica del aeropuerto Juan Santamaría (10° 0' N-84° 12' W), para el período 1986-1996.

Por último, aparte del hecho de que los eventos cálidos y fríos del ENOS también tienden a empezar durante el primer semestre del año, no se encontró ninguna relación estadística entre los eventos del ATN y aquellos del ENOS descritos por Trenberth (1997) y Mora y Amador (1999), por lo que este estudio confirma lo sugerido por Enfield y Mayer (1997), los cuales postulan la variación interanual del ATN como independiente de aquella del Pacífico Ecuatorial Este.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al apoyo de los proyectos VI-112-99-305, VI-805-94-204 y VI-805-98-506 de la Universidad de Costa Rica. Se agradece al Dr. David Enfield, del AOML de la NOAA, por facilitar los datos de TSM dentro del marco del proyecto CRN-TC3 del IAI y a los Drs. Javier Soley y Omar Lizano por sus valiosos comentarios en la elaboración del manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, E., 1998. Influencia de los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical sobre los patrones de precipitación en Centroamérica. Tesis Doctoral, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 111 p.
- Alfaro, E. y L. Cid, 1999. Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Atmósfera*, **12**, 205-222.
- Alfaro, E., L. Cid y D. Enfield, 1998. Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Investigaciones Marinas*, **26**, 59-69.
- 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.
- Bertacchi, C., C. Repelli, S. Zebiak and Y. Kushnir, 1998. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. *J. Climate*, **11**, 551-562.
- Carton, J. and B. Huang, 1994. Warm events in the tropical Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, **24**, 888-903.
- Díaz, A., C. Studzinski and C. Mechoso, 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Climate*, **11**, 251-271.
- Enfield, D., 1996. Relationships of inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophys. Res. Lett.*, **23**(23), 3305-3308.
- Enfield, D. and E. Alfaro, 1999. The dependence of caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate*, **12**, 2093-2103.
- Enfield, D., and D. Mayer, 1997. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, **102**(C1), 929-945.
- Graedel, T. and B. Kleiner, 1985. Exploratory analysis of atmospheric data. Probability, Statistics and Decision Making in the Atmospheric Sciences, A. Murphy y R. Katz, Eds., Westview Press, Inc. Cap. 1, 1-44.
- Gray, W., 1984 a. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influences. *Mon. Weather Rev.*, **112**, 1649-1668.
- Gray, W., 1984 b. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part II: Forecasting its variability. *Mon. Weather Rev.*, **112**, 1669-1683.

- Kaplan, A., M. Cane, Y. Kushnir, A. Clement, M. Blumenthal, and B. Rajagopalan, 1998. Analyses of global sea surface temperature 1856-1991, *J. Geophys. Res.*, **103**, 18567-18589.
- Knaff, J., 1997. Implications of summertime sea level pressure anomalies in the Tropical Atlantic region. *J. Climate*, **10**, 789-804.
- Mechoso, C. and S. Lyons, 1988. On the atmospheric response to SST anomalies associated with the Atlantic warm event during 1984. *J. Climate*, **1**, 422-428.
- Mora, I. y J. Amador, 1999. El chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe y su relación con los eventos ENSO durante el período 1982-1994. Enviado a Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Philander, S. G., 1990. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press, 293 pp.
- Smith, T., R. Reynolds, R. Livezy and D. Stokes, 1996. Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions. *J. Climate*, **9**, 1403-1420.
- Soley, J., 1988. Some statistical significance tests useful in spectral analysis of meteorological time series. *Rev. Geofísica*, **28**, 85-100.
- Soley, J., 1987. Statistical significance of a weak spectral peak using filtering techniques: a case study. *Ciencia y Tecnología*, **11**(1), 5-14.
- Trenberth, K., 1997. The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**(12), 2771-2777.
- Woodruff, S., R. Slutz, R. Jenne, and P. Steurer, 1987. A comprehensive Ocean-Atmosphere data set. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **68**(10), 1239-1250.