

Variación de la frecuencia de los ciclones tropicales en el Atlántico y Pacífico Tropical del Este debido a variaciones decadales e interanuales de la Temperatura Superficial del Mar (Variability in the frequency of tropical cyclones in the Atlantic and East Tropical Pacific associated to decadal and interannual SST variability). En: Memorias del “XI Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y XIV Congreso Mexicano de Meteorología”, CD electronic document. Cancún, México. Del 27 de febrero al 5 de marzo del 2005.

Eric J. Alfaro

Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. E-mail: erick.alfaro@ucr.ac.cr

1. Introducción

Como uno de los objetivos del proyecto “Evaluation of Paleo-Hurricanes in the Intra-Americas Sea (IAS): A reconstruction and Análisis Based on proxy records” (Proyecto IAI-03SGP211-214, I.P. Dr. Jorge Sánchez, IMTA, México), se estudió la relación entre variación de la frecuencia de los ciclones tropicales en el Atlántico y Pacífico Tropical del Este debido a variaciones decadales e interanuales de la Temperatura Superficial del Mar (TSM).

Los índices de TSM usados incluyeron entre otros el Niño 3 y el Atlántico Tropical Norte o ATN (www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/index.html), la Oscilación Multidecadal del Atlántico o AMO (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimatelIndices/>) y la Oscilación decadal del Pacífico o PDO (<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>). Se calcularon diversas series de tiempo de la frecuencia anual de ciclones tropicales utilizando la base de datos de huracanes HURDAT (<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/>) del AOML de la NOAA en Miami, EUA. Las series de ciclones tropicales calculadas fueron: Huracanes Mayores (> categoría 2), Huracanes Menores (categorías 1 y 2), Tormentas Tropicales, ciclones menores (Huracanes Menores y Tormentas Tropicales) y Total de Ciclones Tropicales. Los años utilizados en el análisis comprendieron el periodo 1950-2003 (54 años). Se escogió este periodo por la confiabilidad en la asignación de categorías y trayectorias de los ciclones tropicales. Algunas de las series de tiempo calculadas se muestran en la Fig. 1.

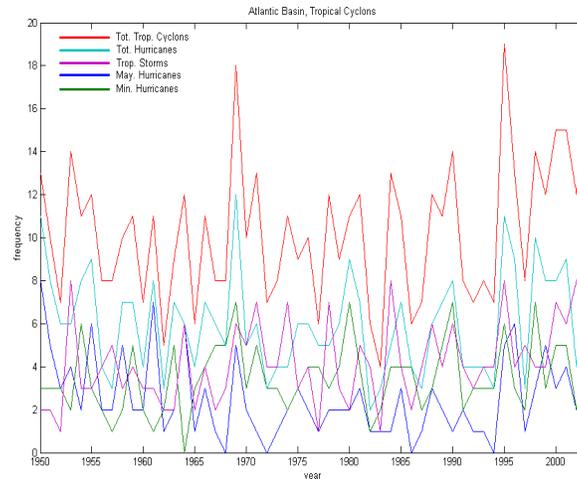


Fig. 1. Series de Tiempo para la frecuencia anual de ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico.

Utilizando análisis contingente se asignaron las probabilidades condicionales para los escenarios bajo (BN), neutral (N) y arriba de lo normal (AN) en las frecuencias anuales de los ciclones tropicales dado un escenario bajo (BN), neutral (N) y arriba de lo normal (AN) en los distintos índices de TSM.

2. Resultados

Primeramente, se calcularon las correlaciones entre distintas estaciones climáticas del año de los distintos índices de TSM y las series de frecuencia anual de ciclones tropicales. Como un ejemplo, la Fig. 2 muestra estas correlaciones para el número total de Huracanes. Las correlaciones con los índices del Atlántico son positivas mientras que aquellas con Niño 3 son negativas. Esto sugiere que periodos con anomalías de TSM positivas (negativas) en el Atlántico (Pacífico) tienden a estar asociados con años en los cuales se observó el mayor número de Huracanes en el Atlántico, mientras que periodos con anomalías de TSM negativas (positivas) en el Atlántico (Pacífico) tienden a estar asociados con años de pocos Huracanes en dicho océano.

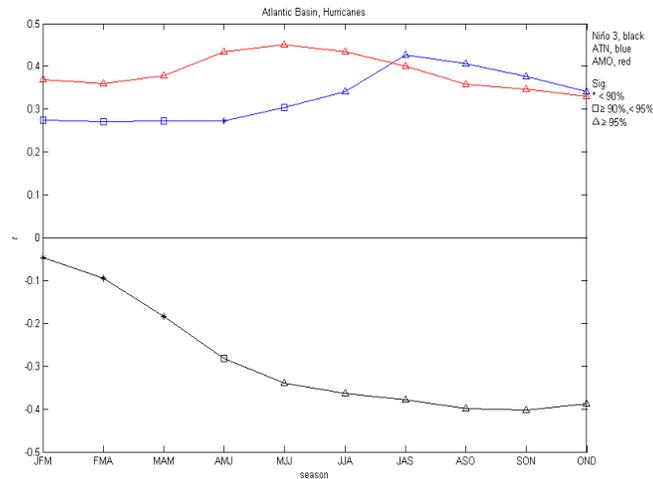


Fig. 2. Correlaciones entre distintas estaciones climáticas del año de los índices usados y el número total de Huracanes en el Atlántico para el periodo 1950-2003.

La Tabla 1 muestra el análisis contingente entre el índice AMO durante el periodo MJJ y el número total de Huracanes, mientras que la Tabla 2 muestra este análisis pero utilizando el índice Niño 3 durante SON. Nótese que las Tablas 1 y 2 confirman en términos generales los resultados mostrados en la Fig. 2.

1950-2003			Huracanes,	Atlántico
		BN	N	AN
AMO	BN	50(9)**	50(9)**	0(0)***
MJJ	N	33(6)	39(7)	28(5)
	AN	17(3)**	33(6)	50(9)**

Tabla 1. Probabilidades condicionales entre el índice AMO-MJJ y el número total de Huracanes en el Atlántico. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas ($\chi^2 = 12.35$, Sig. 98.5%, $\alpha = 0.01 \Rightarrow$ ***, $0.05 \Rightarrow$ **, $0.10 \Rightarrow$ *).

1950-2003			Huracanes,	Atlántico
		BN	N	AN
Niño 3	BN	22(4)*	39(7)	39(7)
SON	N	22(4)*	50(9)**	28(5)
	AN	56(10)***	33(6)	11(2)***

Tabla 2. Probabilidades condicionales entre el índice Niño 3-SON y el número total de Huracanes en el Atlántico. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas ($\chi^2 = 7.35$, Sig. 88.2%, $\alpha = 0.01 \Rightarrow$ ***, $0.05 \Rightarrow$ **, $0.10 \Rightarrow$ *).

Adicionalmente se calculó la diferencia normalizada de los índices AMO-MJJ y Niño 3-SON con el fin de explorar en forma conjunta la influencia de las TSM del Atlántico y Pacífico tropical sobre la frecuencia anual de Huracanes. Los resultados que utilizan este índice empírico se muestran en la Tabla 3.

1950-2003			Hurricanes	Atlántico
		BN	N	AN
AMO, MJJ -	BN	61(11)***	33(6)	6(1)***
Niño 3, SON	N	28(5)	56(10)***	17(3)**
	AN	11(2)***	33(6)	56(10)***

Tabla 3. Probabilidades condicionales entre la diferencia normalizada del índice AMO-MJJ y el índice Niño 3-SON y el número total de Huracanes en el Atlántico. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas ($\chi^2 = 18.02$, Sig. 99.9%, $\alpha = 0.01 \Rightarrow$ ***, $0.05 \Rightarrow$ **, $0.10 \Rightarrow$ *).

Comparando los resultados obtenidos en la Tabla 3 con aquellos de las Tablas 1 y 2, se nota que los distintos escenarios fueron mejor diferenciados utilizando el índice empírico de la Tabla 3. Estos sugieren que cuando la diferencia de las anomalías normalizadas de TSM entre el Atlántico y el Pacífico es negativa (positiva), el escenario más probable es una temporada de Huracanes BN (AN) en la cuenca del Atlántico. Nótese también que las probabilidades para las condiciones (BN, AN) y (AN, BN) son bajas. Para la Tabla 3, los años en los cuales se observó la condición (BN, BN) fueron: 1957, 1965, 1972, 1974, 1982, 1986, 1991, 1993, 1994, 1997, 2002; para (N, N) fueron: 1953, 1959, 1966, 1967, 1970, 1975, 1977, 1981, 1984, 1985; y para (AN, AN): 1954, 1955, 1961, 1980, 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001.

Las Figs. 3, 4 y 5, muestran los mapas compuestos de anomalías entre junio y octubre de TSM, $\delta\bar{V}/\delta z$ y $\bar{V} \cdot (q\bar{V})$ para los años de las condiciones (BN, BN) y (AN, AN) descritos anteriormente.

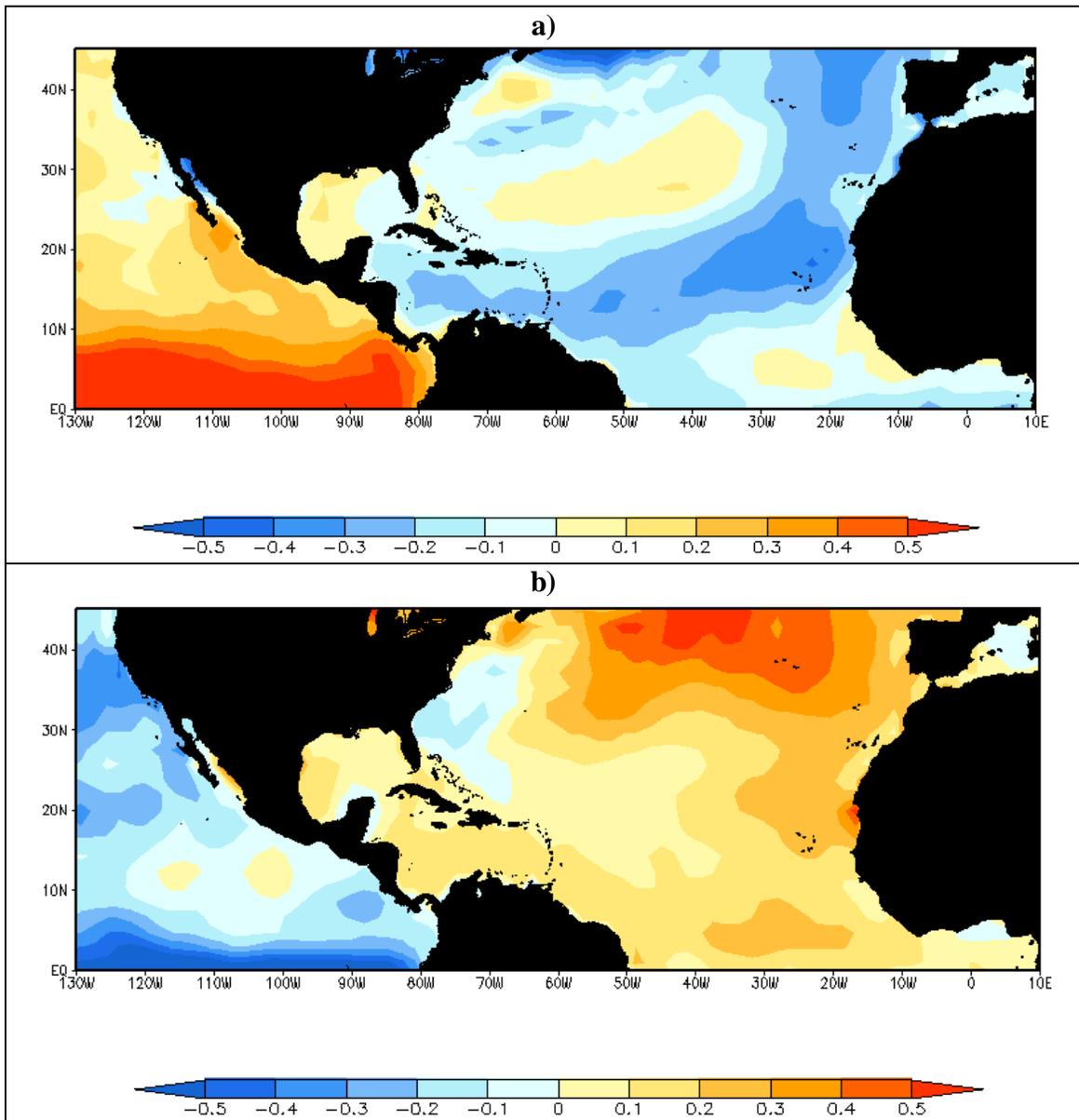


Fig. 3. Compuestos de anomalías de TSM ($^{\circ}\text{C}$) entre junio y octubre para los años con condiciones a) (BN, BN) y b) (AN, AN) de la Tabla 3. Periodo base 1950-2003.

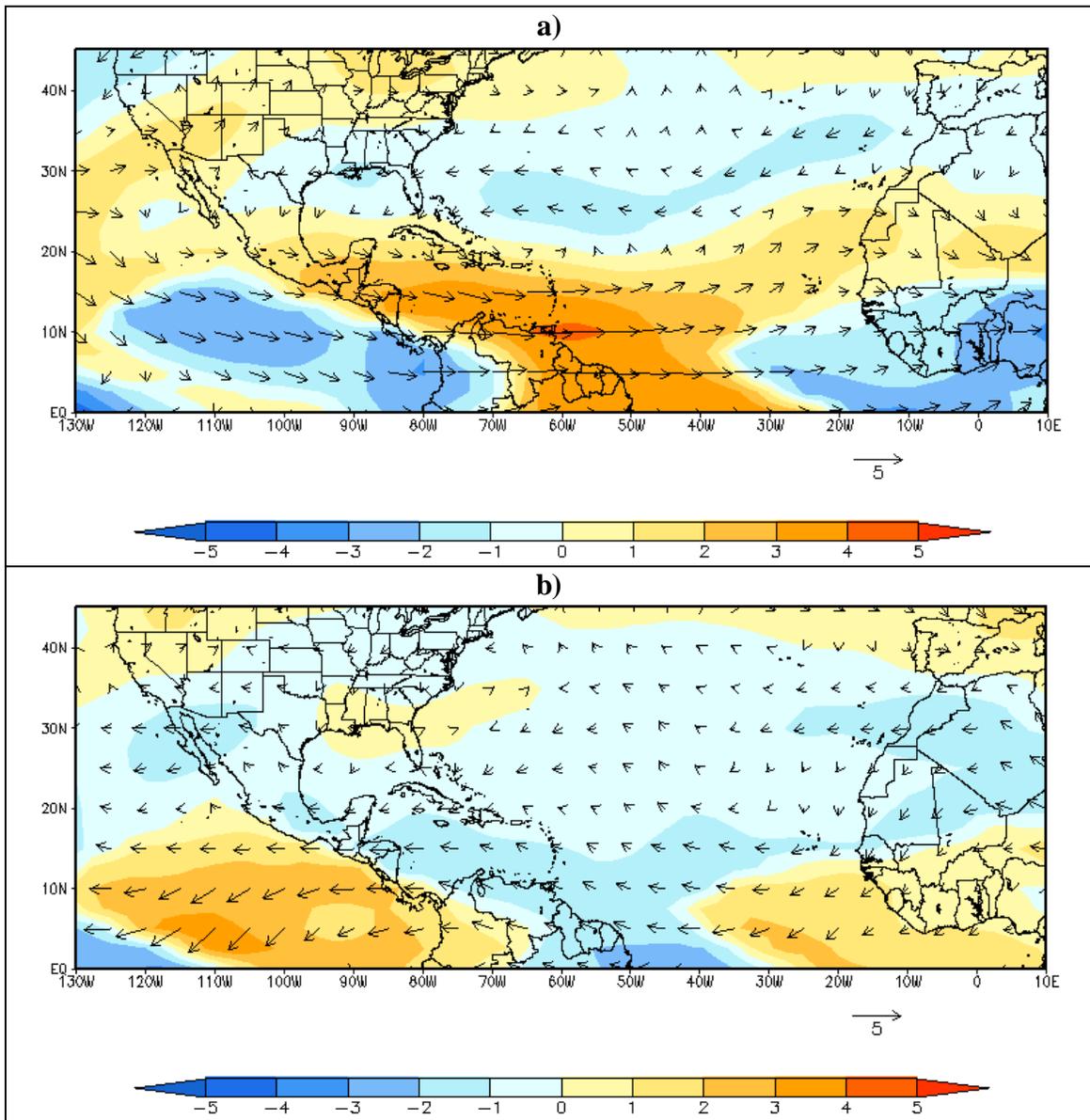


Fig. 4. Compuestos de anomalías de la cortante del viento ($\delta\bar{V}/\delta z$) entre junio y octubre para los años con condiciones a) (BN, BN) y b) (AN, AN) de la Tabla 3. Periodo base 1950-2003.

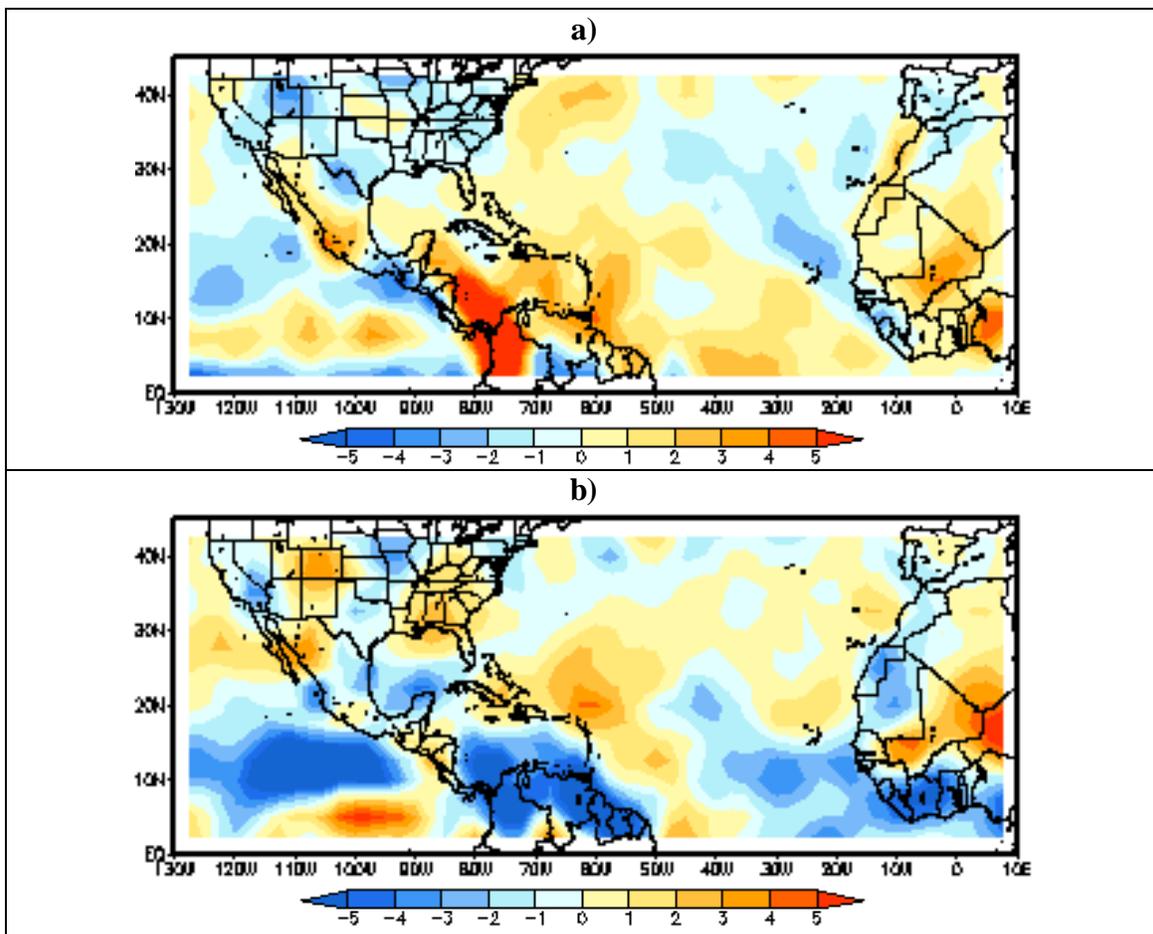


Fig. 5. Compuestos de anomalías de la convergencia del flujo de humedad ($\bar{\nabla} \cdot (q\bar{V}) * 10^6$) entre junio y octubre para los años con condiciones a) (BN, BN) y b) (AN, AN) de la Tabla 3. Periodo base 1950-2003.

Las Figs. 3a, 4a y 5a muestran que durante los años con condiciones (BN, BN) se observaron anomalías negativas (positivas) de TSM en el ATN (Pacífico Ecuatorial del Este), una mayor cortante vertical del viento en el ATN pero menor sobre el Pacífico Tropical del Este cercano a Centroamérica y una divergencia del flujo de humedad sobre el Mar Caribe. Por otro lado, las Figs. 3b, 4b y 5b muestran en general patrones opuestos para las regiones descritas anteriormente durante los años con condiciones (AN, AN).

Un análisis análogo al presentado para la serie del número del total de Huracanes en el Atlántico, se realizó con la otras series de ciclones tropicales descritas en la introducción. La Fig. 6 y la Tabla 4 muestran los resultados para la serie de Huracanes Mayores, siendo estos muy similares a los de la Fig. 2 y la Tabla 1.

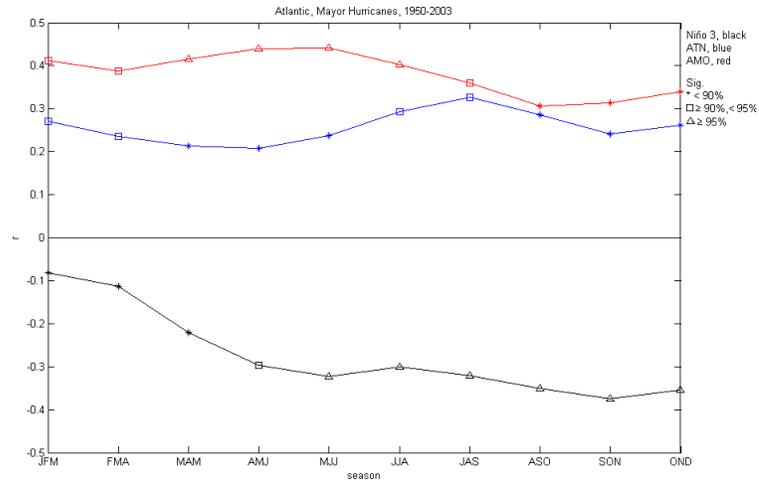


Fig. 6. Correlaciones entre distintas estaciones climáticas del año de los índices usados y el número total de Huracanes Mayores en el Atlántico para el periodo 1950-2003.

1950-2003		Huracanes	Mayores,	Atlántico
		BN	N	AN
AMO	BN	61(11)***	39(7)	0(0)***
MJJ	N	28(5)	50(9)**	22(4)*
	AN	11(2)***	44(8)*	44(8)*

Tabla 4. Probabilidades condicionales entre el índice AMO-MJJ y el número total de Huracanes Mayores en el Atlántico. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas ($\chi^2 = 15.25$, Sig. 99.6%, $\alpha = 0.01 \Rightarrow$ ***, $0.05 \Rightarrow$ **, $0.10 \Rightarrow$ *).

La interpretación de los resultados de la Tabla 4 sugiere que cuando se tiene un escenario de TSM en el Atlántico Tropical BN, el escenario más probable para ese año es que haya pocos Huracanes Mayores en la cuenca Atlántica. Nótese también que bajo condiciones AN de TSM en el Atlántico, la probabilidad de tener una temporada de Huracanes Mayores BN es baja.

Para las otras series de tiempo de ciclones menores (Huracanes Menores y Tormentas Tropicales), las correlaciones encontradas con los distintos índices de TSM usados en el presente análisis son muy pequeñas (e. g. Fig. 7).

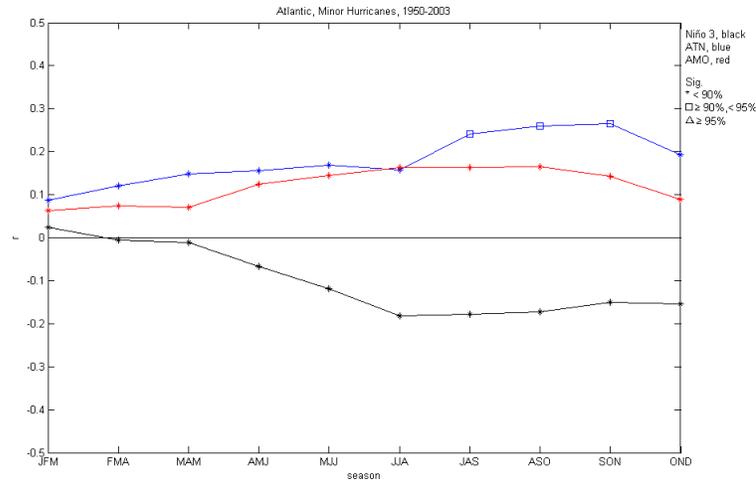


Fig. 7. Correlaciones entre distintas estaciones climáticas del año de los índices usados y el número total de Huracanes Menores en el Atlántico para el periodo 1950-2003.

Para explorar la consistencia de las relaciones encontradas en las Tablas 3 y 4, se realizó el análisis contingente entre las mismas variables entre los años 1871-2003. Estos resultados se muestran en las Tablas 5 y 6.

1871-2003		Huracanes,	Atlántico
		BN	N
		N	AN
AMO, MJJ -	BN	80(35)***	16(7)***
Niño 3, SON	N	47(21)***	31(14)
	AN	20(9)***	27(12)
			52(23)***

Tabla 5. Probabilidades condicionales entre la diferencia normalizada del índice AMO-MJJ y el índice Niño 3-SON con el número total anual de Huracanes en el Atlántico. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas ($\chi^2 = 37.49$, Sig. 100.0%, $\alpha = 0.01 \Rightarrow$ ***, $0.05 \Rightarrow$ **, $0.10 \Rightarrow$ *).

1871-2003		Huracanes	Mayores,	Atlántico
		BN	N	AN
AMO	BN	66(29)***	25(11)*	9(4)***
MJJ	N	53(12)***	29(8)**	18(8)***
	AN	27(12)	18(8)***	55(24)***

Tabla 6. Probabilidades condicionales entre el índice AMO-MJJ y el número total de Huracanes Mayores en el Atlántico. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas ($\chi^2 = 27.04$, Sig. 100.0%, $\alpha = 0.01 \Rightarrow$ ***, $0.05 \Rightarrow$ **, $0.10 \Rightarrow$ *).

Si bien es cierto los resultados de las Tablas 5 y 6 son consistentes con aquellos de las Tablas 3 y 4, se nota en las primeras un sesgo importante hacia valores anuales con cuentas bajas de ciclones tropicales en las series de tiempo, esto podría estar asociado a problemas en la asignación de la categoría de los ciclones tropicales antes del año 1950. Este mismo problema fue identificado en las series de ciclones tropicales del

Pacífico Tropical del Este, siendo los años anteriores a 1970 sesgados hacia valores de pocos ciclones tropicales por año (e. g. Fig. 8), especialmente la serie de Huracanes Mayores, por lo que los resultados del análisis de correlación (Fig. 9) y de contingencia (Tabla 7) se deban tomar con precaución a pesar de ser estadísticamente significativos.

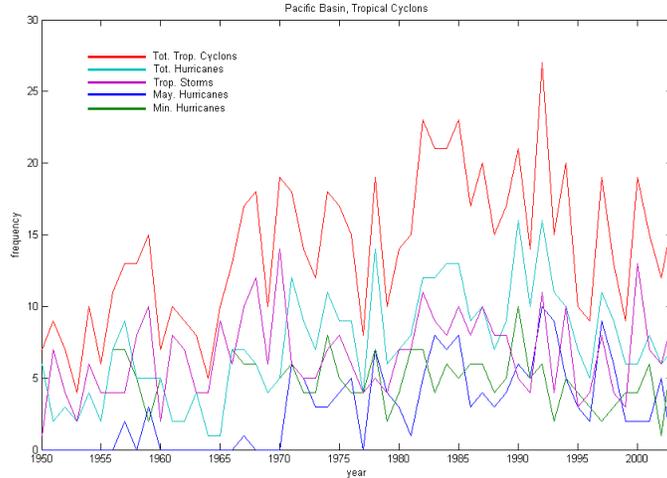


Fig. 8. Series de Tiempo para la frecuencia anual de ciclones tropicales en la cuenca del Pacífico.

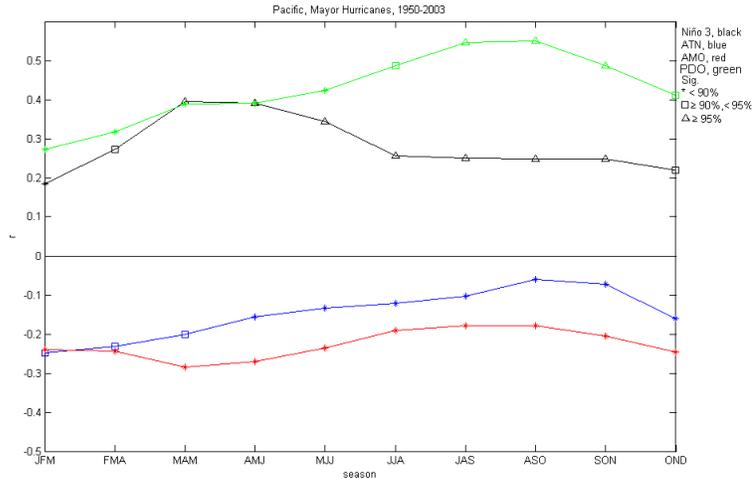


Fig. 9. Correlaciones entre distintas estaciones climáticas del año de los índices usados y el número total de Huracanes Mayores en el Pacífico para el periodo 1950-2003.

1950-2003		Huracanes	Mayores,	Pacífico
		BN	N	AN
PDO	BN	56(10)**	33(6)	11(2)***
ASO	N	44(8)	33(6)	22(4)
	AN	11(2)***	33(6)*	56(8)**

Tabla 7. Probabilidades condicionales entre el índice PDO-ASO y el número total anual de Huracanes Mayores en el Pacífico. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas ($\chi^2 = 11.70$, Sig. 98.0%, $\alpha = 0.01 \Rightarrow$ ***, $0.05 \Rightarrow$ **, $0.10 \Rightarrow$ *).

3. Resumen

Para la cuenca del Atlántico se confirmaron los resultados previos en los cuales periodos anómalamente cálidos (fríos) en la misma tienden a estar asociados con periodos de mayor (menor) frecuencia de huracanes, mientras que las fases cálidas (frías) del ENOS tienden a estar asociadas con años de menor (mayor) frecuencia de huracanes (Gray 1984; Goldenberg et al. 2001). Sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron cuando se estudio la frecuencia de los ciclones en función de la comparación normalizada de la TSM en el Atlántico y el Pacífico ecuatorial, esta interconexión entre ambas cuencas oceánicas es importante de considerar en regiones de alta vulnerabilidad como Centroamérica (Banichevich y Lizano 1998). Por otro lado, los resultados en el Pacífico Tropical del Este sugieren que la principal influencia sobre la frecuencia de los ciclones tropicales la ejerce la Oscilación Decadal del Pacífico, en donde anomalías positivas (negativas) en este índice se relacionan con años de mayor (menor) frecuencia en dicha región, sin embargo el sesgo encontrado hacia valores de cuentas bajas en las series de tiempo antes del año 1970, sugieren tomar con precaución este resultado. Junto con el análisis de otras variables atmosféricas, los resultados de este estudio ayudan a la caracterización de las condiciones climáticas predominantes en periodos de alta o baja frecuencia de huracanes de los paleo-registros de distintas variables proxy obtenidos dentro del marco del proyecto descrito en la introducción. Adicionalmente, estos resultados son útiles para los foros de predicción climática que se desarrollan actualmente en México, Centroamérica y el Caribe.

4. Referencias

Banichevich, A., and O. Lizano, 1998. Interconexión a nivel ciclónico-atmosférico entre el Caribe y el Pacífico Centroamericanos. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 5), 9-22.

Goldenberg, S., C. Landsea, A. Mestas-Nuñez y W. Gray, 2001. The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and Implications. *Science*, 293, 474-479.

Gray, W., 1984. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influences. *Mon. Weather Rev.*, 112, 1649-1668.