

Influencia del océano Atlántico tropical sobre el comportamiento de la primera parte de la estación lluviosa en Venezuela.

MARÍA ISABEL ROJAS

Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Los Chorros de Milla, Mérida, Edo. Mérida, Venezuela. E-mail: miropo@cantv.net.

y

ERIC J. ALFARO¹

Escuela de Física (DFAOP), Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica

(Recibido 13 de junio del 2000, aceptado 20 de setiembre del 2000)

ABSTRACT

The Statistical Ocean Model System, based in Canonical Correlation Analysis, was used to study the relationships between the Tropical Atlantic and Pacific Oceans and the precipitation anomalies in Venezuela for the first part of the rainy season during 1951-1995. The Tropical Atlantic Ocean had the main influence over the April-July (AMJJ) precipitation anomalies with annual cycles associated showing only one maximum in June, mainly. The atmospheric mechanism responsible for this oceanic modulation over the precipitation anomalies could be variations in the latitudinal position of the Inter-Tropical Convergence Zone.

1.- Introducción

Venezuela está ubicada entre los 0° 39' - 12° 12' N y los 59°47' - 73°23' W, por lo que su climatología responde en gran medida a la influencia constante de los vientos del noreste y este de la troposfera baja. Sobre el mar Caribe predomina la convergencia durante el verano, mayo a septiembre, desde superficie hasta 300 hPa (Hastenrath, 1976; 1984). Específicamente en septiembre y octubre, la convergencia y el movimiento ascendente del aire a través de la troposfera aumenta y con ello se favorecen los mecanismos generadores de precipitación. Un cambio más o menos abrupto hacia el tipo de circulación de invierno, se observa al final de octubre, cuando en el Caribe tiende a aumentar la divergencia en los niveles bajos y hacia los 400 hPa, desde noviembre hasta febrero.

Otro elemento que controla las condiciones climáticas en Venezuela es la Zona de la Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual ejerce una profunda influencia sobre las condiciones atmosféricas ya que se puede considerar como la principal causa meteorológica de las precipitaciones en el país. La ZCIT está asociada directamente con un máximo de las TSM, por lo tanto debe existir una migración de la ZCIT en respuesta a la migración estacional del máximo en las temperaturas de la superficie oceánica. Esta migración se presenta al hacia el norte durante el verano boreal y hacia el sur durante el verano austral ya que el océano caliente de los trópicos es una fuente de humedad para la ZCIT justo en la convergencia de los vientos alisios (Velásquez, 2000).

A partir de los sistemas antes mencionados y debido a la topografía de Venezuela, se han podido determinar hasta 18 conglomerados de distribución anual de la precipitación en las diferentes regiones del país, con

¹ Corresponding autor address: Dr. Eric J. Alfaro. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, 2060-Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Tel: (506) 207-5320. Fax: (506) 234-2703. E-mail: ejalfaro@cariari.ucr.ac.cr

dos patrones dominantes: el patrón unimodal cuyo máximo ocurre durante el verano boreal, y que predomina en la mayoría del país y el bimodal, característico de toda la región al norte y oeste de la Cordillera de los Andes así como también en las áreas costeras, este presenta un máximo principal en el mes de octubre y uno secundario en el mes de abril. Entre estos dos máximos tenemos la presencia de un mínimo relativo alrededor del mes de julio, lo que se conoce como veranillo o canícula en varias regiones del Caribe y Centroamérica (información más detallada se puede encontrar en Velásquez, 2000 y Magaña *et al.*, 1999).

El objetivo principal del presente trabajo es el de usar la anomalía de la temperatura superficial del mar o ATSM, de los océanos Atlántico y Pacífico tropical, como variable predictora para determinar el mes y el área de mayor incidencia de la ATSM sobre las anomalías de la precipitación en Venezuela durante la primera parte de la temporada de lluvias.

2.-Datos y Metodología

Como se mencionó anteriormente se seleccionó como variable predictora la Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar o ATSM. Esta información fue obtenida de las series de datos reconstruidas por el National Center for Environmental Prediction (NCEP), a partir del conjunto de datos COADS (Comprehensive Oceanic and Atmospheric Data Set, Wooldruff *et al.*, 1987) con una resolución de 2 x 2 grados, en el período 1951-1992 y del Climate Prediction Center (CPC) en el período 1993-1995.

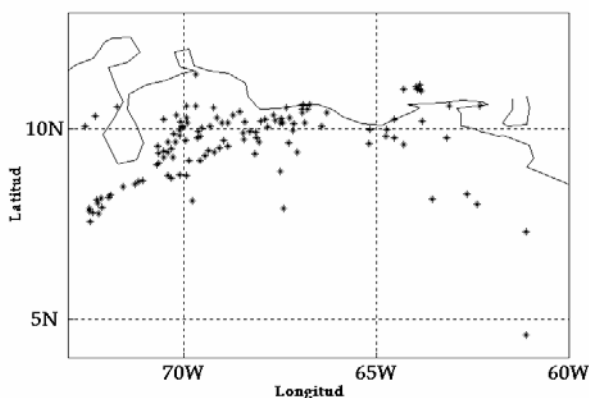


Fig. 1. Ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas usadas.

El conjunto de datos mensuales de precipitación fue obtenido de la Red Pluviométrica Nacional de Venezuela perteneciente a la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, seleccionando 122 estaciones (Fig. 1) con un período comprendido, entre 1951 y 1995, las cuales fueron sometidas previamente a un control de calidad. Si la estimación de datos faltantes era menor o igual al 6%, se

aplicó interpolación lineal temporal basada en el total de precipitación de los meses anteriores y meses subsiguientes, para rellenar la información. Si el porcentaje de datos faltantes era mayor la estación no se tomó en cuenta para el análisis. La red de estaciones se concentra en el centro y norte del país, por lo que al igual que Velásquez (2000), no se logró una buena cobertura en el sur.

Como primer paso se aplicó el Sistema de Modelado estadístico de los OCéanos – SIMOC (Repelli, 1996). Este modelo fue creado con la finalidad de operacionalizar todos aquellos procedimientos de cálculos necesarios para la aplicación y validación del Análisis de Correlación Canónica, ACC. Además de ello, permite el acceso a la bases de datos climáticas y visualización geográfica de resultados, representando por ello una valiosa herramienta para realizar estudios de diagnóstico y pronóstico en los campos de variables climatológicas.

El ACC, considerado como el tope jerárquico en los modelos de regresión, es un procedimiento estadístico multivariante, mediante el cual se logra optimizar las combinaciones lineales de las variables de un campo predictor que explican la mayor varianza en otro conjunto de variables dependientes (Soley y Alfaro, 1999). El método ha sido utilizado ampliamente en análisis de variabilidad climática y puede ser usado en predicción (Repelli, 1996).

Las regiones oceánicas utilizadas como campos predictores fueron: a) Océano Atlántico (30° N - 30° S; 80° W - 0); b) Océano Pacífico (30° N - 30° S; 160° W - 80° W) y c) Océanos Atlántico y Pacífico (30° N - 30° S; 160° W - 0°). Los meses usados en estos campos de las ATSM comprendieron desde enero hasta mayo (Tabla 1).

PREDICTOR	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
PREDICTANTE					
FEB	X				
MAR	X	X			
ABR	X	X	X		
MAYO	X	X	X	X	
JUN	X	X	X	X	X
JULIO	X	X	X	X	X
AGOSTO	X	X	X	X	X
ABR/MAY	X	X	X	X	X
ABR/MAY/JUN	X	X	X	X	X
MAY/JUN/JUL	X	X	X	X	X
JUN/JUL/AGO	X	X	X	X	X
ABR/MAY/JUN/JUL	X	X	X	X	X

Tabla 1. Pruebas del ACC efectuadas.

Los meses usados para los datos mensuales de las anomalías de la precipitación comprendieron desde febrero a agosto y se usaron también los promedios de los meses abril-mayo, AM, abril-mayo-junio, AMJ, mayo-jun-jul, MJJ, junio-julio-agosto, JJA y abril-mayo-junio-julio, AMJJ (Tabla 1). Esto con el fin de verificar si la respuesta de las anomalías de la precipitación corresponden más al comportamiento, en forma robusta, de una estación climática que al comportamiento de un mes individual.

Como paso previo a la aplicación del ACC, cada conjunto de datos fue sujeto a un análisis de Funciones

Ortogonales Empíricas (EOFs por sus siglas en inglés) con la finalidad de eliminar los ruidos de pequeña escala tanto en el campo predictor como en el campo dependiente, optimizando de esta manera la solución de maximización. Al aplicar EOFs, se indicó en cada experimento, que el número de componentes (modos) retenidos explicasen el 80% de la varianza, para luego aplicar ACC. En esta etapa exploratoria se trabajó con el período 1951-1980.

Posteriormente se aplicó el ACC para todos los rezagos (*lags* en inglés) descritos en la Tabla 1, entre las variables predictoras y las predictantes descritas en los párrafos previos.

Para seleccionar el campo predictor con mayor impacto en las anomalías de precipitación de la temporada de lluvias, se consideró aquel experimento dentro de todas las pruebas realizadas, donde se explicara el 80% de varianza con el menor número de modos y que el primer componente del campo predictor explicara el mayor porcentaje de varianza al contrastarlo con las otras pruebas. Además de ello, se comparó el valor de la fracción cuadrada acumulada de covarianza (CSCF en inglés), la cual indica que tan bueno ha sido el método para explicar la matriz de covarianza observada entre los campos usando los *n* modos seleccionados (Bretherton *et al.*, 1992). Como último criterio, se analizó en los diferentes rezagos, el porcentaje de estaciones pluviométricas que presentaran una correlación significativa mayor o igual al valor absoluto de 0.4 con el primer modo canónico del campo predictor en el mes seleccionado.

Por último, se validó el modelo de pronóstico para el período independiente comprendido entre 1981 y 1995, con un modelo de regresión múltiple cuyos parámetros fueron definidos por los coeficientes de los componentes canónicos calculados.

3.- Resultados

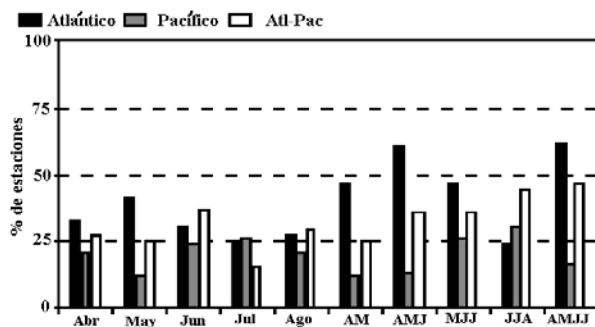


Fig. 2. Porcentaje de estaciones pluviométricas con valores de correlación mayores a |0.4|. Las correlaciones son entre algunos de los períodos descritos en la Tabla 1 para la precipitación y los primeros modos de las ATSM para el mes de marzo.

Se observó que el primer componente canónico, del campo predictor, fue el factor de mayor incidencia sobre el campo de la precipitación. En la Tabla 2 podemos observar el número de modos retenidos para las distintas pruebas y la varianza explicada por el primer modo. Vemos que de acuerdo a los criterios descritos anteriormente, los valores

con mayor potencial son para el área del Océano Atlántico, en el mes de marzo y la del Océano Pacífico en el mes de enero.

Predictor	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo	
	MO D	VAR	MO D	VAR	MO D	VAR	MO D	VAR	MO D	VAR
Pacífico	9	35.5	11	30.9	11	28.7	11	29.7	11	29.3
Atlántico	9	22.61	9	23.1	8	30.5	8	28.6	9	26.5
Atlántico - Pacífico	12	25.81	12	23.8	12	24.1	12	24.3	13	22.7

Tabla 2. Número de modos retenidos para las distintas pruebas descritas en la Tabla 1 (columnas marcadas con MOD) y la varianza explicada por el primer modo (columnas marcadas con VAR).

De la Fig. 2, se observa que hay cerca de un 62% de estaciones cuyas anomalías de precipitación promedio, registradas durante los meses AMJJ, están correlacionadas con el primer modo de las ATSM en el océano Atlántico durante el mes de marzo. Un valor similar se obtiene para el promedio de los meses de AMJ, que define el primer trimestre de la temporada de lluvias para la mayor parte del Venezuela, con un régimen de precipitación unimodal (máximo en Junio). Por el contrario, de la Fig. 3, se nota que no hay un porcentaje importante de estaciones cuyas anomalías promedio estén correlacionadas con los primeros modos de las ATSM durante el mes de enero. Las pruebas hechas para los modos de ATMS en los otros meses tampoco mostraron resultados significativos.

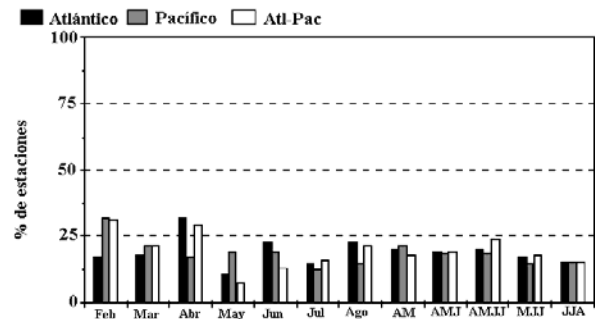


Fig. 3. Porcentaje de estaciones pluviométricas con valores de correlación mayores a |0.4|. Las correlaciones son entre algunos de los períodos descritos en la Tabla 1 para la precipitación y los primeros modos de las ATSM para el mes de enero.

En la Fig. 4 se muestra el patrón espacial de correlación asociado al primer modo de las ATSM del Atlántico en el mes de marzo. Vemos que en general este cubre el área del Atlántico Tropical Norte, en donde la variabilidad interanual de esta región oceánica (Alfaro, 2000), ha mostrado estar relacionada con variaciones de la precipitación en otras regiones de América (Alfaro y Cid, 1999; Enfield, 1996). En la Fig. 5 se muestra el patrón espacial de la correlación explicada por el primer modo de las ATSM de la Fig. 4, sobre el campo de los predictantes durante AMJJ, en donde notamos los mayores valores en las regiones del Lago de Maracaibo, Central y Oriental del país.

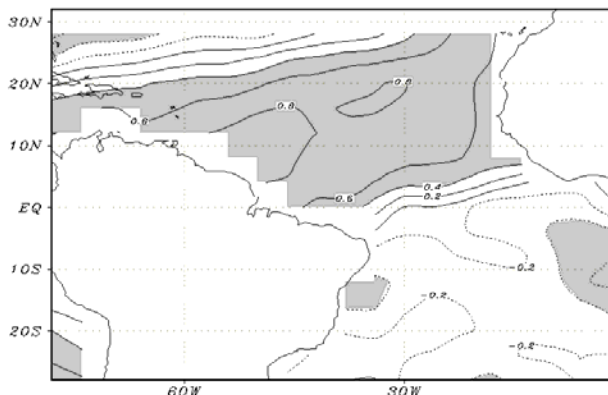


Fig. 4. Patrón espacial de correlación asociado al primer modo de las ATSM del Atlántico en el mes de marzo.

Al verificar el modelo para el área del océano Atlántico, en el mes de marzo, con los valores observados de precipitación en el período AMJJ, se obtuvo una correlación de 0.97 para el primer canónico y 0.87 para el segundo componente, con un CSCF igual a 0.92. Estos resultados muestran que el modelo presentó un buen ajuste al estimar las anomalías de lluvias en las regiones mayormente afectadas por la variabilidad interanual del Atlántico.

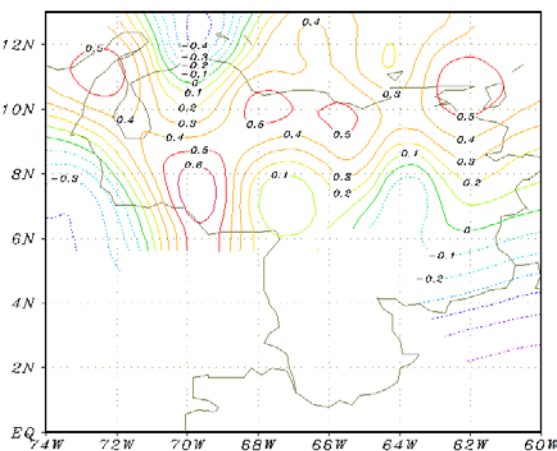


Fig. 5. Patrón espacial de la correlación explicada por el primer modo de las ATSM de la Fig. 4, sobre el campo de los predictantes durante AMJJ.

4.- Discusión

Los resultados mostraron la posible incidencia que tienen los patrones de las ATSM en el océano Atlántico tropical sobre los regímenes de precipitación dominantes en Venezuela. Se observó que el área del Atlántico Tropical Norte puede ser considerado como el principal factor de influencia en las anomalías de precipitación registradas en el período comprendido entre abril y julio. Además, el modelo presentó un buen ajuste, por lo que podría ser utilizado como una herramienta predictiva, para algunas regiones del país.

El mecanismo por cual podría modular el Atlántico Tropical Norte la primera parte de la estación lluviosa es a través de la ZCIT, que según Velásquez (2000), es la responsable del establecimiento de la estación lluviosa en prácticamente toda Venezuela. Este autor explica que en un ciclo estacional regular, la ZCIT comienza su migración hacia el norte en abril o mayo cuando la TSM comienza a disminuir en el Atlántico Tropical Sur, pero cuando se presenta un episodio frío (cálido) en el Atlántico Tropical Norte, la ZCIT comienza su migración en forma tardía (temprana), lo que también podría retardar (adelantar) la entrada de la estación lluviosa.

Este modelo conceptual es consistente con lo encontrado por Enfield y Alfaro (1999). Estos autores notaron una mayor precipitación al norte de Venezuela y este del Caribe durante eventos cálidos del Atlántico Tropical Norte y además encontraron anomalías del viento superficial con marcada componente oeste (dirección suroeste), lo que sería un mecanismo supresor del enfriamiento por surgencia frente a las costas de Venezuela.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos, CPTEC, por la colaboración prestada en la realización del presente trabajo. Este trabajo fue financiado por el Instituto Inter-Americano para el estudio del Cambio Global, IAI, a través del Programa de Actividades de Cooperación regional en Apoyo a la Investigación sobre Cambio Global en los países del IAI. Proyecto: IAI-WMO-GEF-RLA/92/G34 y a través del CRN-TC3(038). También se contó con el apoyo del proyecto UCR-VI-112-99-305.

Resumen

Se aplicó el Sistema de Modelado Estadístico de los Océanos, basado en el Análisis de Correlación Canónica, con la finalidad de estudiar la relación de los océanos Atlántico y Pacífico tropical con las anomalías de precipitación registradas en Venezuela durante la primera parte de la temporada de lluvias para el período comprendido entre 1951 y 1995. Se pudo determinar que la mayor influencia la ejerció el área del océano Atlántico Tropical, en el mes de marzo, sobre las anomalías de precipitación promedio registradas durante los meses de abril a julio (AMJJ) con ciclos anuales asociados a regímenes de precipitación unimodal (máximo en junio), principalmente. Se postula la Zona de Convergencia Inter-Tropical como el mecanismo atmosférico responsable de esta modulación oceánica sobre los campos de precipitación.

Referencias

- Alfaro, E., 2000: Eventos Cálidos y Fríos en el Atlántico Tropical Norte. *Atmósfera*, **13**(2), 109-119.
- 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**(4), 205-222.
- Bretherton, C., C. Smith and Wallace, 1992: An Intercomparison of Methods for finding Coupled patterns in Climate Data. *J. Climate*, **5**, 541- 552

- Enfield, D., 1996: Relations of Inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophys. Res.Lett.*, **23**, 3505-3508.
- Enfield, D. y E. Alfaro, 1999: The dependence of caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate*, **12**, 2093-2103.
- Hastenrath, S., 1978: On modes of tropical Circulation and Climate Anomalies. *J.Atmos. Sci.*, **35**, 222 -2231.
- Hastenrath, S.,1984: Interannual Variability and Annual Cycle: Mechanisms of Circulation and Climate in the tropical Atlantic Sector. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1097-1106.
- Magaña, V., J. Amador and S. Medina, 1999. The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate*, **12**, 1577-1588.
- Repelli, C., 1996: Use of Canonical Correlation Analysis to predict the Spatial and Temporal Rainfall Variabilities over Northesat Brasil. Documento técnico, FUNCEME, Brasil.
- Soley, F. y E. Alfaro, 1999: Aplicación de análisis multivariado al campo de anomalías de precipitación en Centroamérica. *Tóp. Meteor. Oceanog.*, **6(2)**, 71-93.
- Ubarana, V., 1996 : Adaptación del Sistema de Modelado Estadístico - SIMOC- para el pronóstico de anomalías de precipitación para la Región Norte del Noreste del Brasil. Documento técnico, CPTEC- Brasil.
- Velásquez, R., 2000: Mecanismos físicos de variabilidad climática y de eventos extremos en Venezuela. Tesis de Grado, Licenciatura. Escuela de Física. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Woodruff, S., R. Slutz, R. Jenne, and P. Steurer, 1987: A comprehensive Ocean-Atmosphere data set. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **68(10)**, 1239-1250.