

## PRESENCIA DE UNA OSCILACIÓN MONZÓNICA EN EL OESTE DE AMÉRICA ECUATORIAL

### THE STUDY OF THE PRESENCE OF A MONSOON OSCILLATION IN THE WEST OF EQUATORIAL AMERICA

JOSÉ DANIEL PABÓN CAICEDO<sup>1</sup>, WILLIAM MURILLO LÓPEZ<sup>2,3</sup>,  
REINER PALOMINO LEMUS<sup>2,3</sup>, SAMIR CÓRDOBA MACHADO<sup>2,3</sup>

#### RESUMEN

A partir del cálculo del índice de estacionalidad normalizada dinámica (DNS), se establece la existencia de una oscilación en el oeste de América Ecuatorial (MOAE), que actúa sobre la región del Pacífico colombiano. Se comprueba que las variaciones estacionales se controlan sobre todo por la migración latitudinal de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) y el efecto coriolis, que actúan sobre los alisios del noreste y del sureste, los que se ven obligados a curvarse al pasar de un hemisferio a otro. De igual forma, se encuentra que esta oscilación es diferente del monzón suramericano y el norteamericano, que las fases extremas de esta oscilación se registran en diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto, y que esta segunda fase es el período húmedo, en el que se registran los mayores volúmenes de precipitación. Se observó que este período regula el patrón anual de las demás variables climatológicas.

**Palabras clave:** Monzón; Pacífico colombiano; Índice Estacionalidad Normalizada Dinámica; Oeste de América ecuatorial.

#### ABSTRACT

From the calculation of the index of dynamical normalized seasonality (DNS,) The existence of an oscillation in Western Equatorial America is established (MOAE) acting on the Colombian Pacific region. It is verified that seasonal variations are controlled mainly by the latitudinal migration of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and the Coriolis effect, which acts on the trade winds from the northeast or southeast which are forced to bend when passing from one hemisphere to the other. Similarly, it was also found that the oscillation differs from the South American monsoon and the North American monsoon. The extreme phases of this oscillation were registered in December-January-February and June-July-August. During this second phase of the humid period, is when the largest volumes of precipitation are registered. Additionally It was observed that this period also regulate annual pattern of other climatologic variables.

**Keyword:** Monsoon; Pacifico Colombiano; Index of Dynamical Normalized Seasonality; West of equatorial America.

#### INTRODUCCIÓN

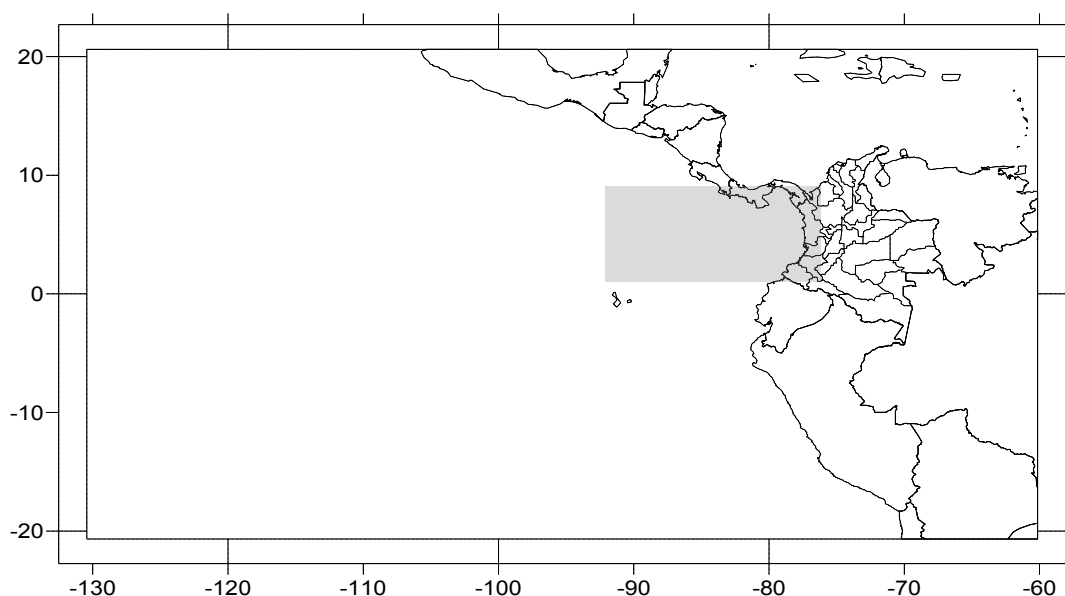
Algunos autores definen los monzones como variaciones estacionales significativas del campo de la dirección del viento en superficie (por lo menos en 120°) entre dos estaciones del año (invierno y vera-

no), (Pedelaborde 1963; Ramage 1971; Retallack 1973; Khromov 1957; Krishnamurti 1996. Barry & Chorley 1996). Esta variación ocurre en general por dos causas: las variaciones estacionales de la temperatura del aire (estacionalidad en el contraste océano-continente) y por la migración de la ZCIT.

1. Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC, Colombia. e-mail: jdpabonc@gmail.com
2. Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología, Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia. e-mail: wmlopez@gmail.com cmaxtor@gmail.com
3. Docente Investigador, Departamento de Matemáticas y Física, Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia. e-mail: samostv@gmail.com

Fecha de recibido: Febrero 24, 2009

Fecha de aprobación: Junio 20, 2009



**Figura 1.** Área general de estudio (zona occidental de América tropical y Pacífico tropical centro-occidental). El recuadro indica la zona en la que se manifiesta el MOAE

La primera, por lo general ocurre en latitudes medias y es la responsable del monzón norteamericano, suramericano y, en gran parte, del monzón asiático; el segundo factor induce este tipo de circulación monzónica en la franja ecuatorial de África y de Suramérica (Barry y Chorley 1997; Khromov 1957; Flohn 1957). La circulación atmosférica de América ecuatorial presenta variaciones estacionales controladas sobre todo por la migración de la ZCIT que induce características propias de un clima monzónico. Si bien, un análisis más profundo de las variaciones estacionales de la dirección viento en el Pacífico colombiano permitiría corroborar la existencia de esta circulación monzónica.

Aunque diferentes autores han señalado la presencia de este tipo de circulación en el occidente de América tropical (Flohn 1957; Khromov 1957; Pabón 1999; Zeng y Zhang 1998; Li y Zeng, 2000), ésta aún no se ha estudiado en profundidad y no se ha dado importancia al conocimiento sobre esta clase de circulación atmosférica en el Pacífico colombiano. En este trabajo se identifica y profundiza en el estado del conocimiento del monzón del oeste de América ecuatorial (MOAE) y su influencia sobre algunas variables meteorológicas, lo que permitirá

aclarar ciertos aspectos de la circulación atmosférica regional que no se han explicado hasta el momento. Además se explora la variabilidad interanual del MOAE, con el objeto conocer mejor el funcionamiento del sistema climático en esta región del planeta, en particular como elemento necesario para mejorar el conocimiento del clima del Pacífico colombiano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El área de estudio se enmarca dentro de la zona de América tropical, sobre todo en la costa occidental de Suramérica, en la parte ecuatorial, entre los (20°S-20°N, 130°-60°W), comprendida por las tierras bajas de la costa Pacífica colombiana y el Darién en Panamá. Asimismo, la zona de expresión del monzón se encuentra entre los (1°-10°N, 75°-90°W) (Figura 1).

**Datos e información.** Para el desarrollo de este estudio, se utilizaron las series mensuales de los campos de dirección y velocidad del viento en (850 hPa y 1000 hPa), temperatura del aire, altura-geopotencial, humedad relativa y precipitación en (850 hPa), utilizando para ello los datos proceden-

tes del Centro Nacional para la Predicción del Medio Ambiente NCEP/NCAR Reanalysis, para el periodo comprendido entre 1953-2004. De igual forma, se emplearon los datos mensuales de precipitación, correspondientes al periodo (1953-2004), registrados en 50 estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ubicadas alrededor y a lo largo de toda la costa del Pacífico colombiano.

**Cálculo del índice dinámico de la estacionalidad normalizada (DNS).** Para identificar la distribución y variabilidad del monzón, se utilizó el *índice dinámico de la estacionalidad normalizada (DNS)* propuesto por (Li y Zeng 2002), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\delta_{m,n} = \frac{\|\bar{V}_1 - V_{m,n}\|}{\|\bar{V}\|} - 2, \quad (1)$$

donde  $\bar{V}_1$  y  $\bar{V}$  son el vector del viento climatológico de enero y la media de los vectores climatológicos de los vientos de enero y de julio, respectivamente, y  $V_{m,n}$  es el vector mensual del viento por el año  $n$  y el mes  $m$ . La norma  $\|A\|$  se define como  $\|A\| = \left( \iint_S |A|^2 dS \right)^{1/2}$  donde  $S$  denota el dominio de la integración, (y se calcula para un punto

$$(i, j), \|A_{i,j}\| \approx \Delta_S \left[ \left( |A_{i-1,j}^2| + 4|A_{i,j}^2| + |A_{i+1,j}^2| \right) \cos \varphi_j + |A_{i-1,j}^2| \cos \varphi_{j-1} + |A_{i+1,j}^2| \cos \varphi_{j+1} \right]^{1/2}$$

en el que  $\varphi_j$  es la latitud del punto  $(i, j)$ ,  $\Delta_S = a\Delta\varphi\Delta\lambda/4$ ;  $a$  es el promedio del radio de la tierra, y  $\Delta\varphi$  y  $\Delta\lambda$  en radianes, son las resoluciones de las direcciones meridionales y zonales, respectivamente (Li & Zeng 2000, 2002).

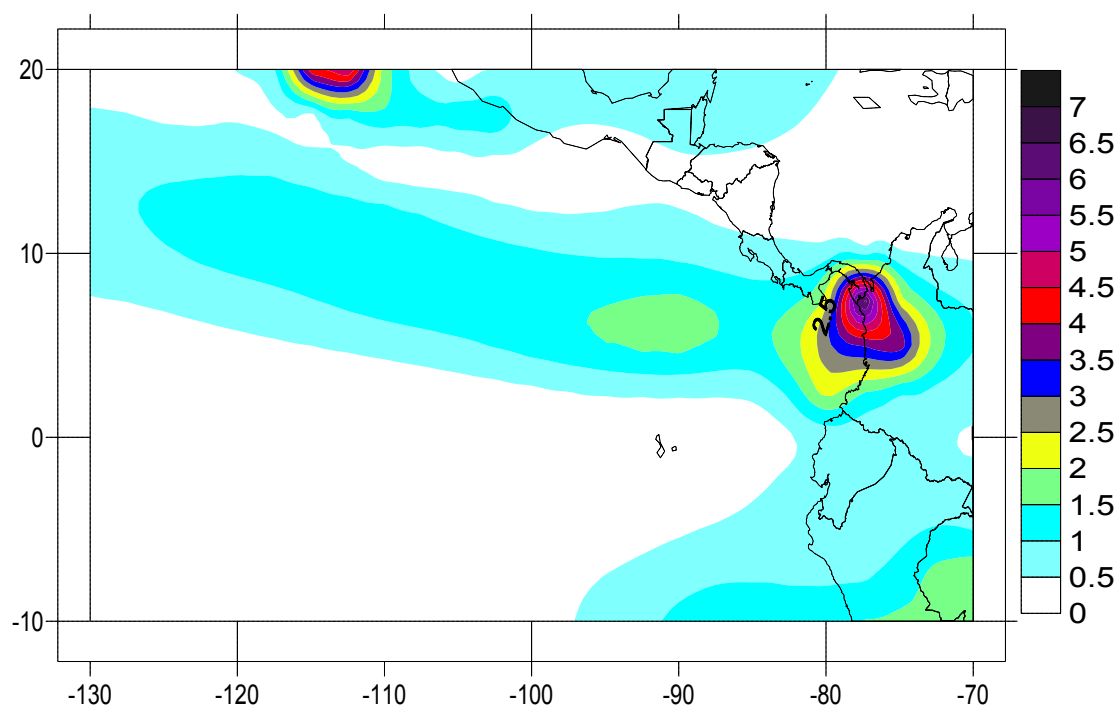
**Procesamiento de la información.** La información proveniente de las diferentes estaciones climatológicas se sometió a diferentes procedimientos de revisión, evaluación, sistematización y procesamiento

mediante la verificación de la consistencia de la información, empleando las técnicas de curvas de doble masa (MDM) o doble acumulada (CDA) (Gabriels *et al.* 2004) y el test de Rachas (Thom 1966), para garantizar el control de calidad de la información que se utilizará.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se comprueba efectivamente la presencia del monzón en el oeste América ecuatorial (MOAE) (Figura 2). Para los meses de junio-julio-agosto (JJA), la región presenta una alta variabilidad estacional en la dirección del viento (más de  $120^\circ$ ), lo que permite catalogar esta zona como monzónica. Estas variaciones estacionales son controladas sobre todo por la migración latitudinal de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que por efecto-coriolis, los alisios del noreste y del sureste se ven obligados a curvarse al pasar de un hemisferio a otro, induciendo cambios estacionales en la circulación de la dirección del viento, que se enmarcan dentro de la categoría de monzón en el oeste de Colombia, similar al monzón africano, que se genera por ambos mecanismos (Ramage 1971; Khromov 1957). Estas particularidades hacen que este difiera del monzón suramericano y el norteamericano, en los que los mecanismos básicos de generación son la fuerte variación estacional de la temperatura del aire (estacionalidad por contraste océano-continente).

Los valores por encima de 2 del MOAE (Figura 2), significan que existe un régimen monzónico (asumiendo un cambio de la dirección de viento mayor a  $90^\circ$ ). Esto ocurre en una larga franja que se extiende desde el occidente del territorio colombiano hacia el occidente, mostrando una zona con valores altos (cambios de la dirección del viento superiores a  $120^\circ$ ) sobre el Chocó (Pacífico colombiano) donde el monzón es en verdad marcado. Llama la atención la presencia de dos regiones con régimen



**Figura 2.** Distribución espacial del índice de estacionalidad estática normalizada (SNS) en la América ecuatorial

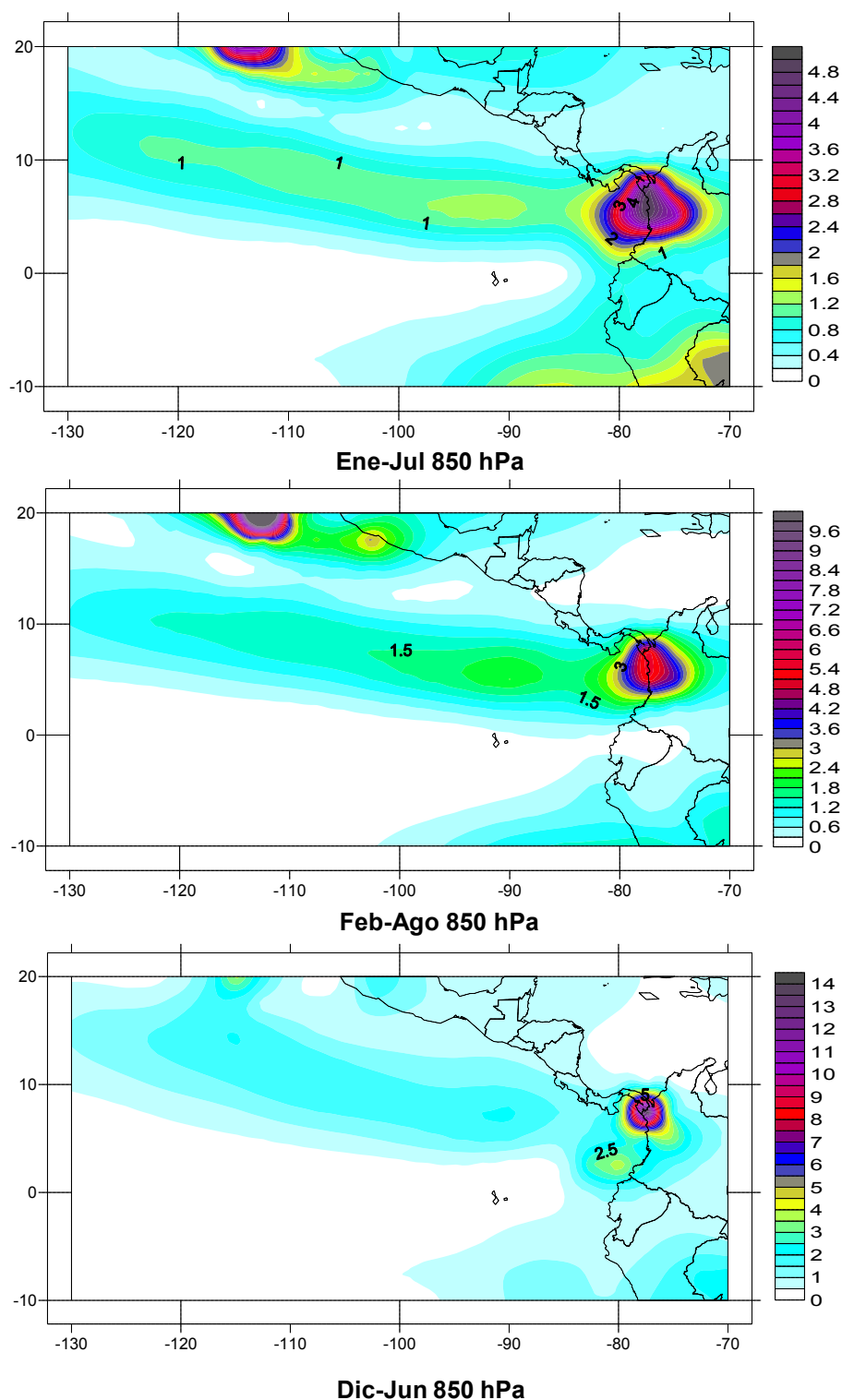
monzónico (una al Nne, cerca de México; otra al sur-Eeste de Perú) separadas del área monzónica del oeste de América ecuatorial, pertenecientes al monzón norteamericano y suramericano, respectivamente (Figura 2). Lo anterior muestra que el MOAE es un sistema diferente respecto a los otros dos sistemas.

**Características del MOAE.** En la Figura 3 se puede apreciar la distribución espacial del índice DNS, para los meses de (diciembre-junio, enero-julio y febrero-agosto), respectivamente; al igual que el caso anterior, hay una amplia zona sobre el Pacífico colombiano, que se puede considerar como región de influencia del monzón, si se tienen en cuenta los cambios para ( $\delta \geq 2$ ) en la dirección del viento, durante las estaciones extremas de invierno y verano del hemisferio norte. Sin embargo, al restringir los cambios estacionales de la dirección del viento ( $\delta > 2$ ), es decir para  $90^\circ < \alpha < 120^\circ$ , se observa (Figura 3) que éste se presenta, dependiendo de la época del año, sobre casi toda la franja norte ecuatorial de las costas colombianas y el sur-oeste de Panamá.

Igualmente, el DNS exhibe un núcleo bien definido sobre toda el área del Pacífico colombiano, con máximos valores sobre el departamento del Chocó y dos núcleos débiles uno entre los  $1^\circ$ - $10^\circ$ N, y el otro entre los  $75^\circ$ - $85^\circ$ W. Como se puede apreciar, este índice no sólo muestra la intensidad del monzón, sino también la persistencia del mismo.

**Comportamiento de las variables meteorológicas en las fases extremas del MOAE.** La Figura 4 muestra la distribución espacial de las variables meteorológicas (temperatura del aire, altura-geopotencial, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento) en 1000 hPa, para las dos fases extremas (diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto) del MOAE. De acuerdo con esta figura, se puede apreciar que éste induce un comportamiento particular en las variables climatológicas, en donde es posible observar el marcado contraste de su distribución en el área de influencia directa de éste.

Entre las dos fases extremas del MOAE, la tempe-



**Figura 3.** Estacionalidad normalizada del campo viento entre enero y julio en 850 hPa. Para un  $\delta = 2$  y  $\delta = \delta_x$  (donde el campo del viento es la media climatológica de los datos durante 1953-2004, el área ligeramente sombreada y el área el campo del viento sombreada oscura representan las regiones con  $\delta = 2$  y  $\delta = \delta_x$  respectivamente) para las tres primeras figuras y ángulo en grados entre los vectores prevalecientes de las dos ases extremas del MOAE

ratura del aire en la ensenada de Panamá y el Pacífico colombiano (Figura 4) tiene una diferencia aproximada de  $0.7^{\circ}\text{C}$ , con mayores valores en JJA, lo que puede estar asociado con el incremento del calor latente que se libera en los procesos convectivos que en esta época del año se intensifican en esa región. En la altura geopotencial, es posible apreciar un núcleo de baja presión que se sitúa frente a la costa norte del departamento del Chocó y sobre Panamá; también se observa que en el Pacífico colombiano predominan valores bajos de geopotencial en las dos fases del MOAE. En términos generales, entre las dos fases extremas del MOAE, hay una marcada diferencia en la altura del geopotencial sobre esta región. Además se observa un desplazamiento hacia el norte (al Caribe) del núcleo de baja presión de Panamá en JJA.

La humedad relativa media estacional entre las dos fases extremas del MOAE, varía con diferencias aproximadas de 5% a 10%, siendo más notable en la ensenada de Panamá y en el área marítima de la costa Pacífica colombiana. En esta región los mayores valores se registran en JJA. Esto puede estar asociado con el arrastre de humedad, a causa de los vientos del suroeste que confluyen en esta área, y que por el efecto orográfico son bloqueados, retenidos y obligados a ascender por la cordillera Occidental colombiana y la de los Andes en el Ecuador. En cuanto al campo del viento se puede observar que en promedio en diciembre-enero-febrero (DEF), en la zona costera y oceánica del Pacífico colombiano, prácticamente predominan vientos moderados de componente norte y noreste, con velocidades oscilantes entre los 3.5 m/s y 7.5 m/s, siendo un poco más débiles sobre la costa Pacífica colombiana. Durante los meses de JJA los vientos viran en su dirección en más de  $130^{\circ}$  en promedio, tornándose del oeste y del suroeste; en cuanto a su magnitud son relativamente débiles comparados con los de la fase opuesta (DEF) y sus velocidades oscilan entre 3 m/s y 6 m/s, siendo los de la zona norte del Pacífico los de mayor velocidad.

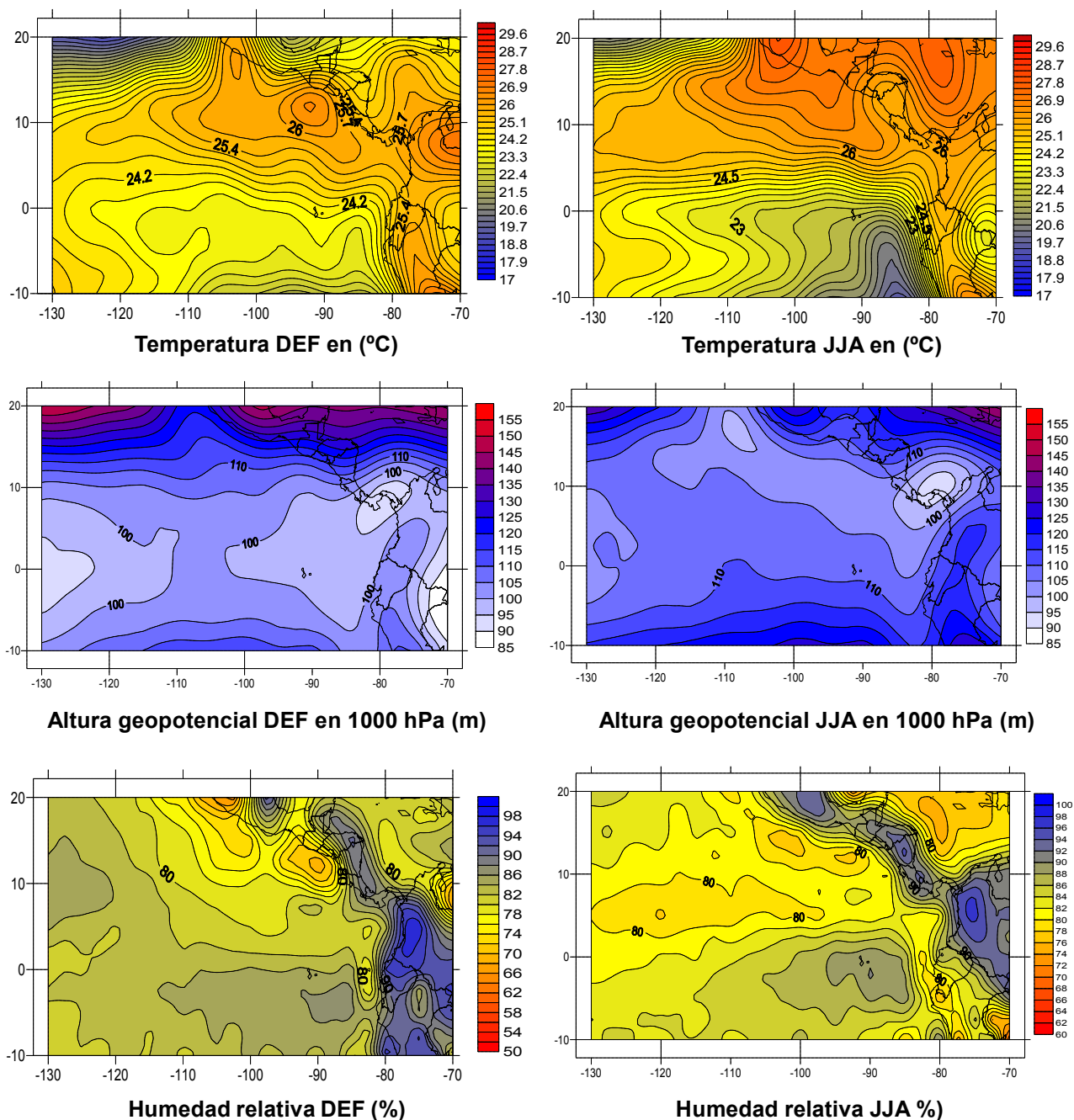
En la precipitación se evidencia la formación de dos grandes núcleos en la época de JJA, centrados uno sobre el norte del Pacífico colombiano y el otro al norte de Panamá, que concuerdan con la temporada más lluviosa de la zona norte y centro del Pacífico colombiano. En los meses de DEF se observa un solo núcleo de precipitación abundante situado hacia el sur de la zona del Pacífico colombiano, que coincide con la época seca de esta región.

En la Figura 5 se presenta la distribución espacial de los valores promedios de precipitación acumulada en las fases extremas del MOAE, de estaciones del IDEAM en superficie, en la región del Pacífico colombiano. Como es posible observar, en DEF ésta presenta una mayor intensidad en la zona sur de la región, con un pequeño núcleo bien definido sobre el Cauca; se aprecia otro pequeño núcleo de poca intensidad en la zona central del departamento del Chocó. En la fase opuesta (JJA), se puede ver que el núcleo que se encontraba en el norte, incrementa su magnitud y se extiende, a una mayor área de influencia; de igual forma en JJA se observa una intensificación de la precipitación en el norte del Pacífico y una disminución en la zona sur.

Además se observa que la estacionalidad del campo de la dirección y velocidad del viento, induce un comportamiento particular en las variables climáticas en el municipio de Quibdó, departamento del Chocó, particularmente una bimodalidad en la precipitación. También se encuentra que existe una fuerte correlación entre estas dos variables, hasta de 88% (Figura 6).

## CONCLUSIONES

El análisis efectuado en el marco de este trabajo permitió corroborar la existencia del monzón del oeste de América ecuatorial (MOAE) y se evidenciaron las particularidades que lo hacen diferente de los monzones suramericano y norteamericano. Se encontró que el campo del viento de la región del



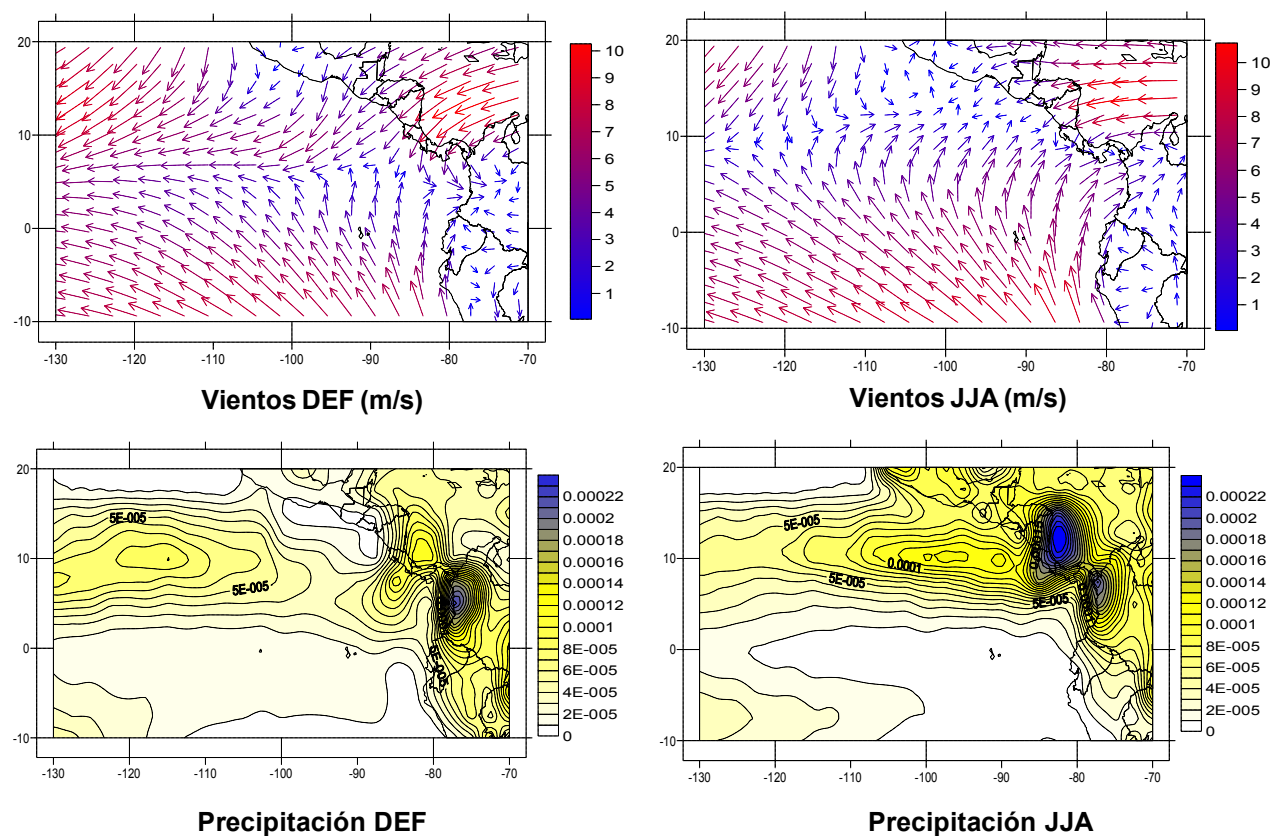
**Figura 4.** Distribución espacial de las variables en superficie para las dos fases extremas (diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto) del MOAE

Pacífico colombiano presenta una alta variabilidad estacional en la dirección (mayor de 120°) y en velocidad, lo que permite catalogar esta zona como monzónica.

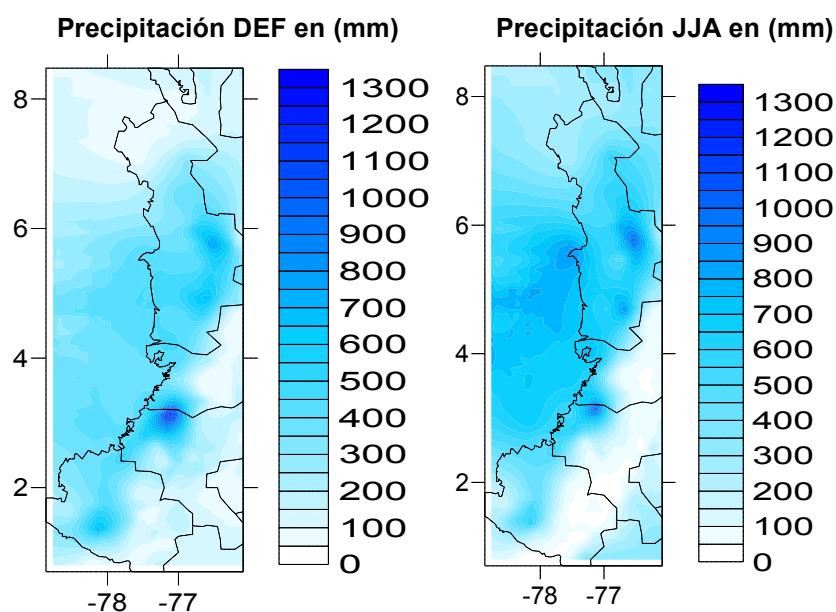
Al analizar la circulación predominante de los vientos

en superficie para las dos fases extremas del MOAE (DEF y JJA), se halló, que en promedio en DEF, en la zona costera y oceánica del Pacífico colombiano, prácticamente predominan vientos moderados N y NE; en cambio en la fase opuesta (JJA) los vientos viran en su dirección en más de



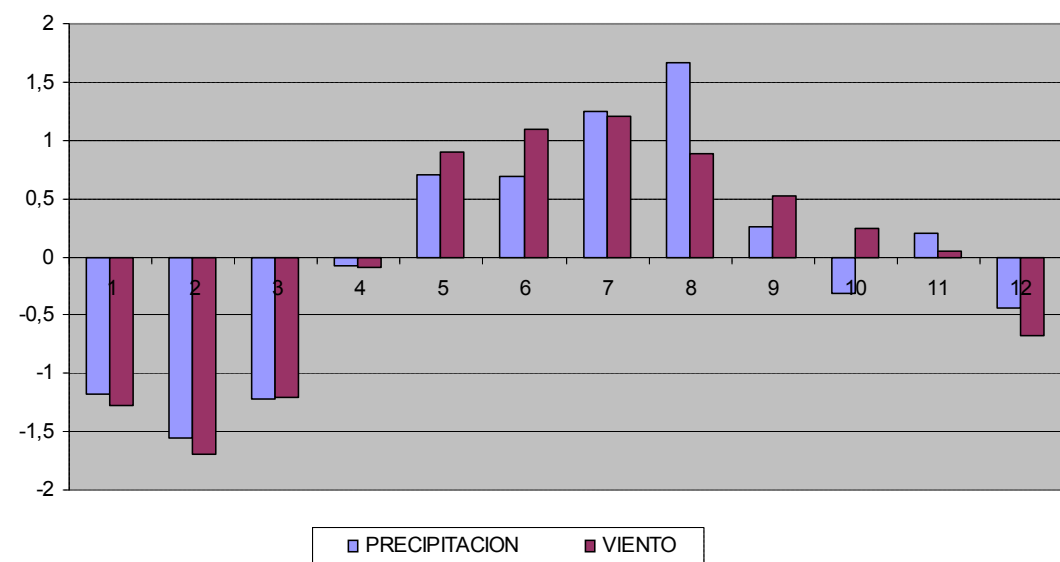


**Figura 4.** Distribución espacial de las variables en superficie para las dos fases extremas (diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto) del MOAE



**Figura 5.** Distribución espacial de las variables precipitación, temperatura y humedad relativa en superficie para las dos fases extremas (diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto) del MOAE





**Figura 6.** Comparación entre estacionalidad del campo viento y la precipitación en el municipio de Quibdó, Chocó, Colombia

120° en promedio, tornándose del W y SW; en cuanto a la magnitud, se encontró que son relativamente débiles en JJA.

La estructura vertical del monzón presentó cambios muy marcados en la dirección y velocidad del viento, en la troposfera inferior en (850 hPa y 1000 hPa). Además se comprobó que el MOAE induce estacionalidad en las variables climatológicas del Pacífico colombiano, sobre todo en la precipitación del departamento del Chocó y la ensenada de Panamá. En este sentido se logró concluir que la variabilidad interanual de la precipitación se explica por el comportamiento del DNS en la región del Pacífico colombiano, con mayores valores en las zonas entre la costa y la cordillera.

#### RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Grupo de Investigaciones de Energía Solar y Meteorología – Universidad Tecnológica del Chocó y el Grupo Tiempo, Clima y Sociedad, del departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia y a la Vicerrectoría de Investigación y su Programa Estratégico de Fortalecimiento de Gru-

pos de Investigaciones de la Universidad Tecnológica del Chocó.

#### LITERATURA CITADA

- Barry, R.G., Chorley, R. J. 1997. *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona: Ediciones Omega. 500 p.
- Das, P. K. 1986. Monsoons WMO Publ. 613. 155 pp.
- Eslava J.A. 1994. Climatología del Pacífico colombiano. Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas. *Colección Eratóstenes*, N° 1, Santa Fe de Bogotá DC, 79 p.
- Flohn H. 1957. Large-scale aspects of the «summer monsoon» in south and east Asia. *J Meteorol Soc. Japan* 75th Ann. Vol. 180-6.
- Gabriels, D., Ovalles, F., Santibáñez, F., Moyano, M.C., Aguilera, R., Pizarro, R., *et al.* 2004. *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*. UNESCO-París, CAZALAC ORG; p. 1-59.
- Khromov, S. P. 1957. *Die geographische Verbreitung der Monsune*. Peterm. Geogr. Mitt. 234-7.
- Krishnamurti, T. N. 1996. Monsoons. *Encyclopedia of Climate and Weather*, Vol. 2, S.H. Schneide (ed.). New York, Oxford: Oxford University Press; p. 512-5.
- Li, J., Q. Zeng. 2000. Significance of the normalized seasonality of wind field and its rationality for characterizing the monsoon. *Sci China (D)*. 43 (6): 647-53.
- Li, J., Q. C. Zeng. 2002. A unified monsoon index. *Geophys*

- Res Left. 29 (8): 1151-4. doi: 10.1029/2001GL013874.*
- Pedelaborde, P. 1963. *The Monsoons* (Tr. by M.J. Clegg). London, Methuen, 196 pp.
- Ramage, C. S. 1971. *Monsoon meteorology*. New York, London: Academic Press; 296 pp.
- Retallack, B.J. 1973. *Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV*. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, 355 p.
- Thom H. C. 1966. *Some methods of climatological analysis*. Technical note N° 81. World Meteorological Organization; 52 p.
- Zeng, Q. C., B. L. Zhang, Y. L. Liang, S. X. Zhao. 1994. The Asian summer monsoon a case study. *Proc Indian Sci Acad. 60 (1): Part A*, 81-96.
- Zeng, Q. C., B. L. Zhang. 1998. On the seasonal variation of atmospheric general circulation and the monsoon. *Chinese J Atmos Sci. 22: 211-20*.