

# MECANISMOS CAUSALES DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA *MECHANISMS OF PRECIPITATION VARIABILITY AT COLOMBIA*

Samir CÓRDOBA-MACHADO<sup>1</sup>, Reiner PALOMINO-LEMUS<sup>1</sup>, Yolanda CASTRO-DÍEZ<sup>1</sup>, Sonia Raquel GÁMIZ-FORTIS, María Jesús ESTEBAN-PARRA  
<sup>1</sup>*Depto. de Física Aplicada. Universidad de Granada*  
samostv@gmail.com, cmaxtor@gmail.com, ycastro@ugr.es, srgamiz@ugr.es, esteban@ugr.es

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio de la influencia de los campos globales de presión a nivel del mar (SLP) y de la temperatura superficial del mar (SST), así como del impacto de varios índices climáticos de teleconexión (NAO, PDO, NIÑO 3,4, etc.) sobre la precipitación en Colombia. Para ello, se identificaron los principales modos de variabilidad de la precipitación para las estaciones de invierno y verano en el país, mediante un análisis de componentes principales. Los resultados muestran una importante influencia de la SLP y la SST del Pacífico, esencialmente asociadas al ENSO, así como del Atlántico tropical, con varias estaciones de adelanto, más significativas para la precipitación de invierno, que podría ser usada para la predicción de la precipitación en Colombia.

**Palabras clave:** Variabilidad Climática, Precipitación, Teleconexión, Temperatura Superficial del Mar, Presión a nivel del Mar.

## ABSTRACT

This work presents the study of the influence of global fields of Sea Level Pressure (SLP) and Sea Surface Temperature (SST), as well as the impact of various climatic teleconnections indices (NAO, PDO, NIÑO 3.4, etc.) on the precipitation in Colombia. To this end, previously, the main modes of variability of precipitation for winter (DJF) and summer (JJA) seasons in the country have been identified using principal component analysis (PCA). The results show a significant influence of the previous seasonal SLP and the SST from the Pacific, essentially associated with the ENSO, and from the tropical Atlantic, more significant for winter precipitation than for summer, that could be used for the prediction of rainfall in Colombia.

**Key words:** Climate Variability, Precipitation, teleconnections, Sea Surface Temperature, Sea Level Pressure.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas de Colombia no sólo generan un ambiente para el normal funcionamiento de los ecosistemas y biomas establecidos en él, sino que propician el desarrollo de diferentes actividades socioeconómicas, entre las que destaca la agricultura del café, el plátano y las flores. El territorio colombiano se ve afectado por las fases extremas de la variabilidad climática,

que causan en muchas ocasiones desastres naturales como inundaciones, deslizamientos de tierras, o pérdidas de cultivos, entre otros; con importantes consecuencias económicas para el desarrollo del país.

En la actualidad se dispone de diversas descripciones del clima colombiano (IDEAM, 2005); sin embargo, aún están por explorar las fluctuaciones de diversa escala temporal de las variables climatológicas cuyas fases extremas generan fuertes impactos en el país. A pesar de las evidencias de estos efectos, el conocimiento existente no es suficiente para una comprensión óptima de los procesos que se desarrollan e influyen en el clima de Colombia.

Ante la necesidad de un conocimiento más profundo sobre los procesos atmosféricos y el clima de Colombia, algunos autores han desarrollado estudios específicos a partir de la década de los 90. Así, Mesa *et al.* (1997) resumen aspectos del clima del Pacífico colombiano no presentados antes; Pabón (1996) y Zea y León (2000) describen en términos generales la denominada baja anclada de Panamá; Poveda (1999) menciona por primera vez el chorro de bajo nivel del Chocó y sus efectos en la hidrología colombiana, Pabón (2003a, b) alude al efecto de El Niño y La Niña en varias regiones del país; Mapes *et al.* (2003) realizaron un estudio especial sobre los procesos convectivos en Colombia; Poveda (2004) hace una síntesis bastante completa de los avances en el estudio del clima y de la variabilidad climática de Colombia, obtenida mediante estudios en la década de los 90. También Poveda *et al.*, (2002) presentan estudios sobre la influencia de fenómenos macroclimáticos en Colombia, donde se destaca la relación entre la NAO, El Niño, la PDO y algunas variables hidroclimáticas del país (precipitación y caudal). Otros estudios relacionados con el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia (IDEAM, 2002; Montealegre y Pabón, 2000; Pabón, 2003a; Poveda y Mesa 2000); afirman que tal variabilidad climática puede generar situaciones de exceso o de déficit de precipitación que propicia inundaciones o sequías y causan desastres, estimulan el desarrollo de enfermedades como malaria y dengue, daños a la producción agropecuaria, entre otros. Dada la importancia de esta variabilidad es necesario profundizar en el estudio de la variabilidad climática en el país.

Así pues, el presente trabajo realiza un estudio sobre los mecanismos físicos que pueden afectar la variabilidad de la precipitación en Colombia, explorando las relaciones de la precipitación con las variaciones de la temperatura del mar en superficie (SST), los campos de presión a nivel de mar (SLP) y diversos patrones de teleconexión conocidos, con el objetivo global de contribuir al conocimiento del clima del país.

## 2. DATOS

Para el desarrollo de este trabajo se han utilizado los datos de precipitación (Pt), obtenidos de estaciones meteorológicas pertenecientes al IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). En total se dispuso de 935 estaciones para todo el país, todas ellas en escala mensual, de las cuales se utilizaron solo 341 estaciones para el área de estudio.

Por otra parte, para los datos de temperatura superficial del mar del planeta se ha empleado la base de datos del Hadley Centre Ice and Sea-surface Temperature dataset, HadISST, (Rayner *et al.*, 2003), y como datos de presión a nivel del mar (SLP) se usaron los datos de reanálisis 1 del NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996). Por último con el fin de establecer la relación de diversos fenómenos macroclimáticos de acoplamiento océano-atmósfera (NAO, ENSO, PDO, etc.) con la variabilidad de

la precipitación en Colombia, se utilizaron índices de teleconexión calculados por la NOAA, y obtenidos de la página web:

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surface.html>

El periodo de tiempo analizado para todas las bases de datos fue 1971-2009.

### 3. METODOLOGÍA

Las series de datos de precipitación fueron sometidas a un control de calidad, que consistió en desechar aquellas series con menos de 30 años de registros en un periodo de tiempo continuo y series que contenían más de un 15% de datos faltantes (huecos). Con estas condiciones se obtuvo un total de 380 estaciones cubriendo el periodo de tiempo 1971-2009. Se analizó la homogeneidad de estas series, siguiendo las recomendaciones del ETCCDMI (Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices) del WMO/CLIVAR (World Meteorological Organisation/Climate Variability and Predictability). El análisis de la homogeneidad fue llevado a cabo mediante el test t penalizado (Wang *et al.*, 2007) y el test F maximal penalizado (Wang, 2008), que detectan cambios en la media y en la tendencia de la serie analizada. Al culminar el control de homogeneidad se obtuvo finalmente un total de 341 estaciones de precipitación mensual, distribuidas en el territorio Colombiano como se muestra en la Figura 1.

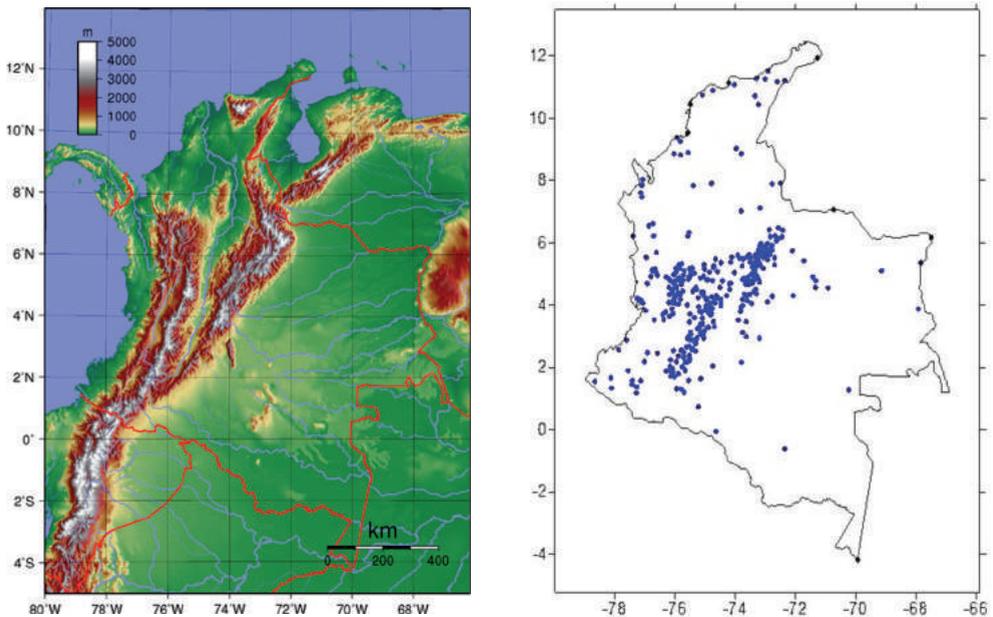


FIG. 1: Mapa físico de Colombia (izquierda) y ubicación de las estaciones de precipitación (derecha).

Con el fin de obtener los principales modos de variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia, se aplicó el PCA a los totales de precipitación estacionales de invierno, (DEF), y verano (JJA), a partir de la diagonalización de la matriz de correlaciones. La selección de los EOF (funciones ortogonales empíricas) significativos, obtenidos a través del PCA, se realizó aplicando la regla de North (North *et al.*, 1982).

Después de obtener los resultados del PCA, se analizó el impacto de la variabilidad temporal de la SLP y la SST del planeta, en los patrones de la Pt de invierno y verano encontrados en Colombia. Para ello se estudiaron las correlaciones coetáneas y con retrasos estacionales de hasta más de 1 año entre las series temporales estacionales de SLP y SST del planeta y las PCs correspondientes a los primeros modos de la precipitación del país. También se estudió la posible influencia de los índices climáticos de teleconexión (Itele), en las series PC de Pt de invierno y verano, a través de las correlaciones entre estas variables a escala estacional.

Antes de realizar el cálculo de las correlaciones, se sustrajo la tendencia de las PCs resultantes de Pt ya que, algunas mostraron una tendencia significativa, lo cual podría afectar de manera considerable el valor de las correlaciones, introduciendo correlaciones espurias y ocasionando la autocorrelación de los residuos. La significación de las correlaciones se establece mediante el contraste de la hipótesis nula (correlación nula) a un nivel de significación del 95%.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Modos de variabilidad

En total se obtienen 3 modos significativos de variabilidad para la precipitación durante el periodo 1971-2009, en cada estación del año estudiada (DEF y JJA), de acuerdo a la regla de North. Los tres primeros modos de la precipitación en la estación de invierno explican un 56,6% de la variabilidad, mientras que los tres primeros modos de la estación de verano representan un 45,5% de la varianza total de las estaciones de precipitación empleadas.

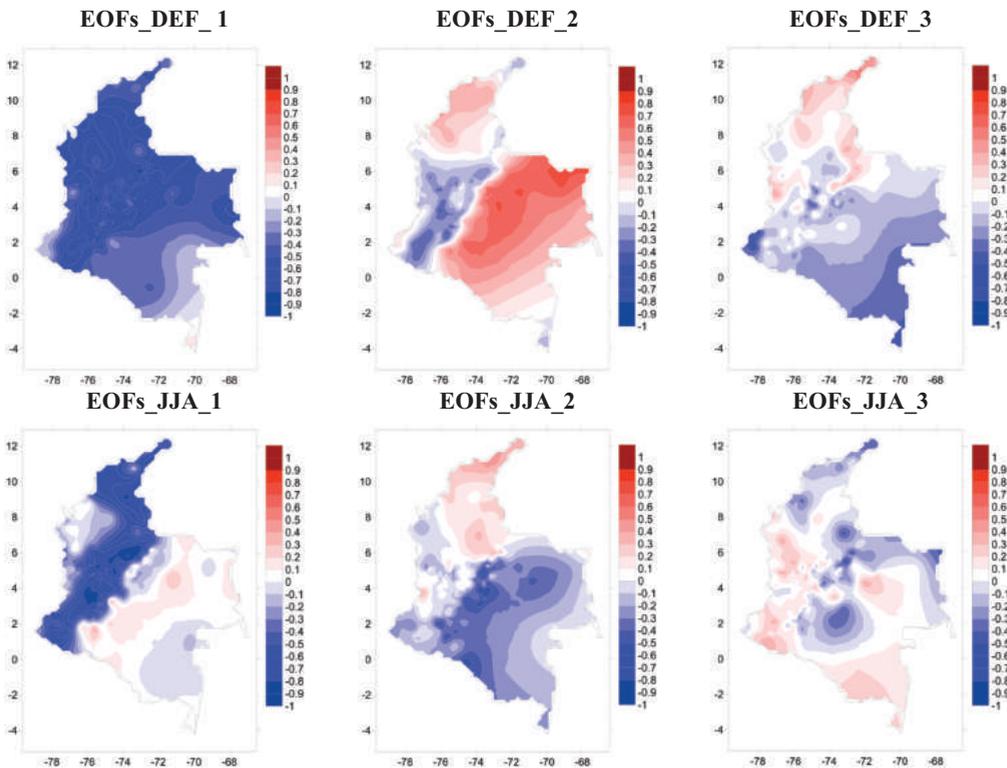


FIG. 2: EOFs obtenidos del PCA de precipitación en DEF y JJA (periodo 1971-2009).

La Figura 2, muestra los factores de carga de las primeras EOFs de la precipitación en las estaciones de estudio. Se observa que la primera EOF de la estación de invierno, con un porcentaje de varianza explicada del 40,6%, exhibe altas correlaciones negativas en casi toda Colombia a excepción de una pequeña región en el sur del país (sur de la región de Amazonas), donde se presentan algunas correlaciones positivas muy débiles, por tanto este patrón representa un modo global de variabilidad de la precipitación en toda la región. La segunda EOF, que explica un 11,7% de la varianza, muestra un patrón dipolar con correlaciones negativas hacia el sur, occidente y centro de Colombia principalmente, con valores entre -0,3 y -0,5, mientras que el este y gran parte norte del país muestran correlaciones significativas positivas comprendidas entre 0,4 y 0,7. La tercera EOF, con un porcentaje de varianza asociado de 4,3%, muestra sólo unos pequeños centros de correlación negativa al oeste y sur del país, mientras que valores positivos se ubican al norte de Colombia.

Respecto a la estación de verano (JJA), la primera EOF (con una varianza explicada del 31,3%) está asociada al área oeste y norte de Colombia, pero excluyendo el área más noroccidental. La segunda EOF, con un porcentaje de varianza asociado de 8,9%, representa la zona situada al sur y este de Colombia. La tercera EOF, que explica un 5,3% de varianza, sólo presenta algunos centros reducidos con correlaciones negativas en el norte, centro y occidente de Colombia. Por otro lado, dada la configuración de los EOFs, se puede evidenciar que la orografía de Colombia (el paso de la cordillera de los Andes) influye de manera importante en la distribución espacial de los modos de precipitación. En la Figura 3 se presentan las series temporales (PC) asociadas a los principales modos de precipitación obtenidos con el análisis de PCA.

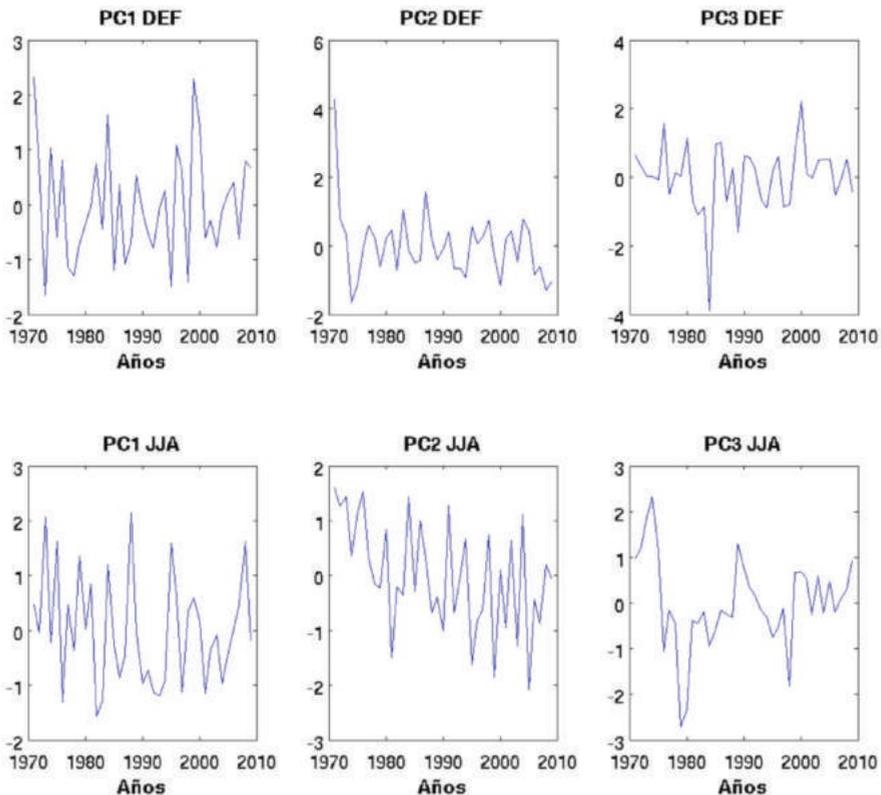


FIG. 3: Series de PCs (Pt) asociadas a las EOFs, obtenidas para DEF y JJA (1971-2009).

Se puede observar que la mayoría de los patrones temporales presentan una considerable variabilidad, mientras que sólo para algunas series PC se evidencia la existencia de tendencias (negativa para la región sur del país en verano, asociada a la segunda PC).

#### 4.2. Índices de teleconexión y modos de variabilidad

Al estudiar las correlaciones entre los principales índices de teleconexión (Itele) y los modos de variabilidad de la precipitación de invierno y verano (Tabla 1), se observa que las mayores correlaciones negativas se presentan entre la primera serie PC de cada estación y los índices que están asociados a la SST del Pacífico tropical (regiones El Niño). De igual forma se muestra una fuerte correlación positiva entre el Índice de Oscilación del Sur, SOI, componente atmosférico del ENSO y los primeros modos de precipitación, de tal forma que en la mayor parte de Colombia, las fases positivas de El Niño tenderían a estar asociadas a un descenso de las precipitaciones.

Itele_DEF	PC1_DEF	PC2_DEF	Itele_JJA	PC1_JJA	PC2_JJA
A_SST 1+2	-0,5	0,4	A_SST 1+2	-0,4	0,1
A_SST 3	-0,6	0,4	A_SST 3	-0,6	0,1
A_SST 4	-0,6	0,4	A_SST 4	-0,6	0,1
A_SST 3,4	-0,7	0,4	A_SST 3,4	-0,6	0,2
SOI	0,7	-0,2	SOI	0,6	0,1

TABLA 1: Coeficientes de correlación entre los Itele (El Niño) DEF y JJA y las primeras dos series PC (Pt) en DEF y JJA.

Las correlaciones con otras teleconexiones son en general más pequeñas o no significativas, aunque alguna de ellas parece mostrar cierta influencia importante en la precipitación, mayor en la estación de invierno que en verano (tabla no mostrada). Por ejemplo, algunos índices, como el SCA (-0.3), NAO (0.3), EP (-0.3), EA (-0.4) y PDO (-0.3), presentan correlaciones débiles pero significativas, principalmente con la serie PC1 de la estación de invierno. Por otro lado, al estudiar las correlaciones con retraso (valores no mostrados), se evidencia que el impacto de los índices asociados al ENSO, se prolonga en general durante varias estaciones, dejando ver su capacidad predictiva sobre la variabilidad de la precipitación en Colombia.

Debido que el primer modo de variabilidad, EOF1, tanto en la estación de invierno como en verano, explica el mayor porcentaje de variabilidad de la precipitación, en las siguientes secciones solo se muestran los resultados obtenidos sobre la primera PCs de dichas estaciones.

#### 4.3. Impactos de la SLP

En la Figura 4 se muestra el mapa de correlaciones simultáneas entre la SLP y la primera PC de precipitación de invierno (izquierda), así como también, las correlaciones entre la SLP y la primera PC de precipitación en la estación de verano (derecha).

Se aprecia un centro de correlaciones positivas significativas (0,3 a 0,7), sobre el Océano Pacífico oriental y central, más extendido en verano (derecha) que en invierno (izquierda), junto con un centro de correlaciones negativas al sureste de Asia, asociado a la Oscilación del Sur, SO. Además se tienen

correlaciones negativas sobre gran parte de África, la Península Ibérica (con valores entre los -0,5 y -0,8) y el Atlántico tropical, en este último, con valores más grandes en la estación de verano. Las regiones que muestran correlaciones positivas inducen un aumento de la precipitación en Colombia, mientras que las correlaciones negativas producen el efecto contrario.

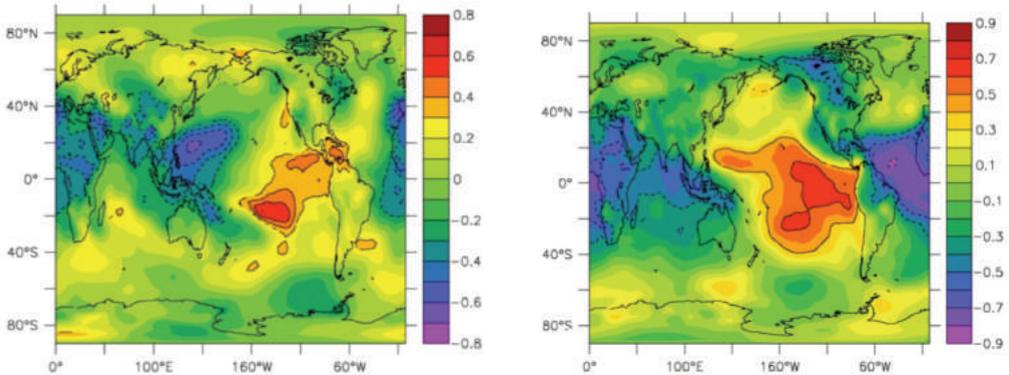


FIG. 4: Mapas de correlaciones simultáneas entre la SLP y la primera PC de precipitación en las estaciones de invierno (izquierda) y verano (derecha). En contorno las correlaciones significativas al 95%.

Por otro lado, las correlaciones con retraso de hasta un año (figura no mostrada) entre la SLP de cada una de las estaciones del año y las primeras PCs de precipitación tanto de invierno como de verano, presentan fuertes centros de correlaciones positivas y negativas en muchas regiones del planeta (atlántico tropical, continente africano y en el océano Índico entre otras), pero principalmente sobre el océano Pacífico en la región asociada al ENSO, evidenciando la relación que hay entre la SLP de este área y la precipitación en Colombia.

#### 4.4. Impactos de la SST

La Figura 5, presenta las correlaciones coetáneas entre la SST del planeta y la serie PC1 de precipitación en las estaciones de invierno (izquierda) y verano (derecha). Los datos de SST fueron filtrados para eliminar la tendencia presente en ellos. Como puede apreciarse en ambas estaciones, gran parte del Océano Pacífico, entre 40°N y 50°S, aparece con correlaciones positivas (0,4 a 0,8) y negativas significativas (-0,4 a -0,8), de las cuales se destacan los valores negativos entre 0,6 y 0,8 en el Pacífico ecuatorial, en la región donde se desarrolla el fenómeno de EL Niño, más aun, se observa que el patrón de correlación en el Pacífico tropical en el mapa de invierno (izquierda), tiene un grado de similitud con el patrón de invierno de El Niño Modoki (Askhok *et al.*, 2007).

Por otra parte en la estación de invierno se muestran correlaciones negativas significativas sobre el océano Índico y correlaciones débiles positivas en la parte sur y norte del océano Atlántico, mientras que en la estación de verano se destacan correlaciones positivas significativas con valores de 0,6, en el atlántico tropical cerca de las costas africanas.

Respecto a las correlaciones con retraso de hasta un año entre la SST estacional y la primera PC de precipitación de las estaciones de invierno y verano, se han encontrado correlaciones fuertemente significativas con la precipitación, especialmente en el Pacífico tropical, con fuerte capacidad predictiva para el invierno y en menor medida para el verano.

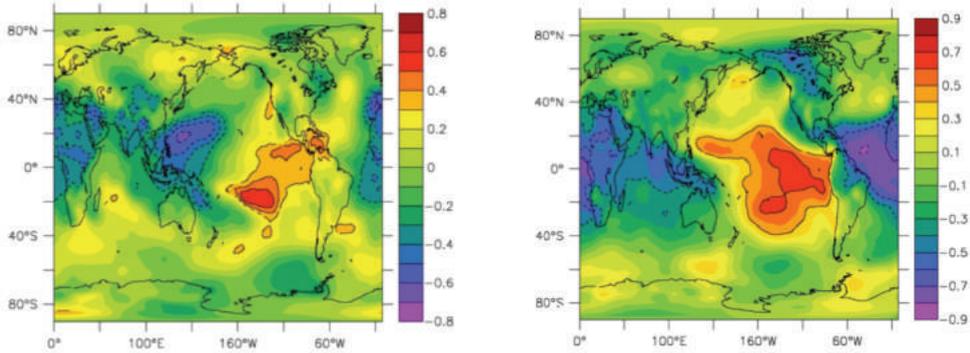


Fig. 5: Mapas de correlaciones simultáneas entre la SST y la primera PC de precipitación en las estaciones de invierno (izquierda) y verano (derecha). En contorno las correlaciones significativas al 95%.

La Figura 6 muestra las correlaciones con retraso entre la SST de las estaciones anteriores y la PC1 de precipitación en la estación de invierno. Se observa que la SST de la estación de otoño (MAM) presenta fuertes correlaciones positivas (0.6 a 0.7) sobre el Pacífico occidental y correlaciones negativas significativas (-0.6 a -0.8) en el Pacífico tropical, (en la región del fenómeno El Niño). Estas correlaciones tienden a debilitarse conforme aumenta el retraso en la SST, de tal forma que el patrón de correlaciones no aparece en el mapa de correlaciones con la SST de invierno del año anterior (DEF). Así, para retrasos de la SST de un año y superiores los centros de correlaciones en muchas regiones tienden a cambiar de signo.

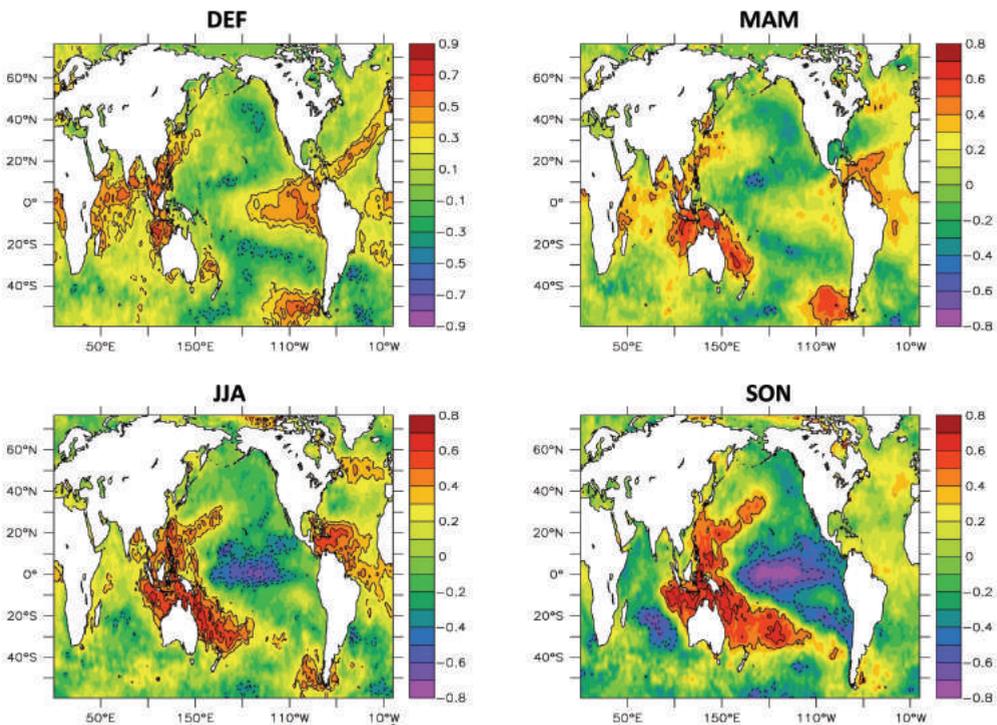


Fig. 6: Mapas de Correlaciones con retraso entre la SST estacional (invierno, primavera, verano y otoño) y la PC1 de precipitación de invierno. En contorno las correlaciones significativas al 95%.

El fuerte impacto del ENSO en la región, da lugar a que anomalías positivas (/negativas) de la SST en el Pacífico tropical induzcan un descenso (/ascenso) de la precipitación en Colombia. La amplia extensión de la zona de correlación en el Pacífico tropical explica las correlaciones obtenidas entre la precipitación y todos los índices asociados a El Niño evaluados. Además, la persistencia en el tiempo de correlaciones en el Pacífico tropical en donde el ENSO tiene su escenario principal, muestra el potencial predictivo que puede tener sobre la variabilidad de la precipitación en el país.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra que la variabilidad de la precipitación en Colombia está fuertemente ligada a las variaciones del campo de presión en el Pacífico asociadas al ENSO, no sólo en la estación contemporánea, sino también con las de las estaciones del año precedentes, lo que conferiría al ENSO una capacidad predictiva, más prolongada en el tiempo para el invierno que para el verano. Así mismo, existe cierto impacto de la SLP de otras regiones sobre la precipitación, en particular del Atlántico tropical, en el área de El Niño Atlántico, así como cierta influencia del Pacífico, que podría estar ligada a cambios de la presión inducidos por variaciones del Niño Modoki (Ashok *et al.*, 2007).

Se encuentra una fuerte relación entre la precipitación y la SST estacional, especialmente en la región del Pacífico tropical, con fuerte capacidad predictiva para el invierno y en menor medida para el verano. Es reseñable el fuerte impacto del ENSO en la región, de forma que anomalías positivas (/negativas) de la SST en el Pacífico tropical inducen un descenso (/ascenso) de la precipitación en Colombia, lo cual está de acuerdo con los resultados encontrados por otros autores (Pabón, 2003a; Poveda, 2000, 2002, 2004; Montealegre, 1996; Montealegre y Pabón, 2000; Poveda y Mesa, 2000; Poveda *et al.*, 2002; IDEAM, 2002). La amplia extensión de la zona de correlación en el Pacífico tropical explica las correlaciones obtenidas entre la precipitación y los índices de teleconexión asociados a El Niño, esto es, independientemente de cuál sea la región donde se calcula el índice. Además, el patrón de correlaciones en el Pacífico occidental muestra la sensibilidad de la precipitación en Colombia a El Niño Modoki. Cabe destacar también la influencia de otras regiones de la SST, entre ellas, la del Atlántico tropical, que presentan también cierto potencial predictivo. Por último, para algunos índices como el EP/NP, SCA, NAO, y PDO, presentan correlaciones débiles significativas simultáneas, con la precipitación de las estaciones de invierno y verano. Estas relaciones pueden indicar algún efecto de las teleconexiones asociadas sobre la variabilidad de la precipitación, y podrían ser útiles al explorar en más detalle la variabilidad del clima de Colombia.

### *Agradecimientos*

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) y a la Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH), por financiar los estudios de Doctorado de S. Córdoba y R. Palomino en la Universidad de Granada, España.

Este trabajo se ha realizado en parte en el marco del proyecto CGL2010-21188/CLI, financiado por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación y los Fondos FEDER de la Comunidad Europea.

## REFERENCIAS

- Ashok, K.; S. K. Behera; S. A. Rao; H. Weng y Yamagata T. (2007). "El Niño Modoki and its possible teleconnection". *J. Geophys. Res.*, 112, C11007, doi: 10.1029/2006JC003798.
- IDEAM. (2002). Efectos Naturales y Socioeconómicos del Fenómeno El Niño en Colombia. Dirección para la Prevención de Desastres. Agosto 2002, pp. 80. Bogotá.

- IDEAM. (2005). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá D.C. ISBN 958-806714-6.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Jenne, R. y Joseph, D. (1996). "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project". *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 77(3), pp. 437-471.
- Mapes, B.E.; Warner, W. y Xiu, X.P. (2003). "Diurnal Patterns of Rainfall in Northwestern Southamerica. Part I: Observations and Context". *Mon. Wea. Rev.*, v. 131, pp. 799-812.
- Montealegre, J. (1996). Análisis del comportamiento de la precipitación en Colombia durante los periodos de ocurrencia de los fenómenos ENOS (EL Niño-Oscilación del Sur) y el anti Niño. Memorias IV Congreso Colombiano de Meteorología. Bogotá, pp.157-169.
- Montealegre, J. y Pabón, J.D. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, N° 2, pp. 7-21.
- North, G.R. (1982). "Empirical orthogonal functions and normal modes". *J. Atmos. Sci.*, 41, 879-887.
- Pabón, J.D. (1996). Variabilidad interanual de la precipitación estacional en el Pacífico y en la Amazonía Colombiana. Memorias del XIII Congreso de Geografía, Florencia-Caquetá. Universidad de la Amazonía - ACOGE - OEA -PROMESUP, pp. 87-96.
- Pabón, J.D. (2003a). Fenómeno El Niño: efectos e impactos en el Pacífico colombiano. En: El Mundo marino de Colombia. UNAL. pp. 64-74. Bogotá.
- Pabón, J.D. (2003b). "El cambio climático global y su manifestación en Colombia". *Cuadernos de Geografía*, v XII (1-2), pp. 111-119.
- Poveda, G. (1999). "La corriente en chorro superficial del oeste (del CHOCÓ) y otras dos corrientes de chorro atmosféricas sobre Colombia: Climatología y variabilidad durante las fases del ENSO". *Rev. Acad. Colomb. Cien.*, 23 (89), pp. 517-528.
- Poveda, G. y Mesa. (2000). Las Fases Extremas del Fenómeno ENOS EL NIÑO Y LA NIÑA y su Influencia sobre la Hidrología de Colombia. Postgrado de Aprovechamiento de Recursos Hídricos, Facultad de Minas, UNAL. Sede Medellín.
- Poveda, G.; Vélez, J.I.; Mesa, O.; Hoyos, C.D.; Mejia, J.; Barco, O.J. y Correa P.L. (2002). "Influencia de fenómenos macro climáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos". *Meteorología Colombiana*, pp.121-130. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C.
- Poveda G. (2004). "La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria". *Rev. Acad. Colomb. Cien*, 28 (107), pp. 201-222.
- Rayner, N.A.; Parker, D.E.; Horton, E.B.; Folland, C.K.; Alexander, L.V; Rowell, D.P.; Kent, E.C. y Kaplan, A. (2003). "Globally complete analyses of sea surface temperature, sea ice and night marine air temperature, 1871–2000". *J. Geophys. Res.*, 108, 4407. DOI: 10.1029/2002JD002670.
- Wang, X.L.; Wen, Q.H. y Wu, Y. (2007). "Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series". *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 46(6), pp. 916-931.
- Wang, X.L. (2008). "Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change". *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24 25(3), pp. 368-384.
- Zea, J.A.; León, G. y Eslava, J. (2000). "La Oscilación cuasibienal y algunas relaciones con los eventos cálidos y fríos del Pacífico". *Meteorología Colombiana*, pp. 51-58. Bogotá D.C.