

# INFLUENCIA DE LA SST DEL PACÍFICO TROPICAL SOBRE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA. IMPACTOS DE EL NIÑO Y EL NIÑO MODOKI

Samir CÓRDOBA-MACHADO<sup>1,2</sup>, Reiner PALOMINO-LEMUS<sup>1,2</sup>,  
Sonia Raquel GÁMIZ-FORTIS<sup>1</sup>, Yolanda CASTRO-DÍEZ<sup>1</sup>,  
María Jesús ESTEBAN-PARRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Applied Physics Department, University of Granada, Granada, Spain*

<sup>2</sup> *Technological University of Chocó, Colombia*

[scordobam1@ugr.es](mailto:scordobam1@ugr.es), [rpalomino@ugr.es](mailto:rpalomino@ugr.es), [srgamiz@ugr.es](mailto:srgamiz@ugr.es), [ycaastro@ugr.es](mailto:ycaastro@ugr.es), [esteban@ugr.es](mailto:esteban@ugr.es)

## RESUMEN

En este estudio se examina la influencia de la SST del Pacífico tropical sobre la precipitación estacional en Colombia usando 341 estaciones de precipitación (Pt) durante el periodo 1979-2009. Los dos primeros modos de variabilidad de la SST obtenidos a través de un Análisis de Descomposición del Valor Singular (SVD) están claramente asociados con los patrones de El Niño (EN) y El Niño Modoki (ENM), respectivamente. Además, estos modos presentan una gran fuerza de acoplamiento con los correspondientes modos de la Pt estacional en Colombia. Los resultados muestran que, principalmente para las estaciones de invierno y verano, las fases positivas del EN y ENM están asociadas con una marcada disminución de la Pt sobre la región norte, oeste y central del país. Sin embargo, para algunas localidades se produce el efecto contrario durante primavera, verano y otoño. La región suroccidental de Colombia exhibe un comportamiento opuesto relacionado con la ocurrencia de EN y ENM, durante los años en que ambos fenómenos no coexisten, indicando que la respuesta de la Pt estacional no es lineal. Adicionalmente, el análisis de regresión parcial utilizado para cuantificar de forma separada la influencia de los dos tipos de ENSO, sobre la Pt estacional, revela la importancia de ambos fenómenos en el proceso de reconstrucción de esta variable. Los resultados encontrados establecen el fundamento para modelar la Pt estacional en Colombia a partir de la SST del Pacífico tropical asociada con El Niño y El Niño Modoki.

**Palabras Claves:** Precipitación estacional, SST del Pacífico Tropical, El Niño, El Niño Modoki, Descomposición del Valor Singular, Colombia.

## ABSTRACT

The influence of the tropical Pacific SST on precipitation in Colombia is examined using a 341 stations dataset covering the period 1979-2009. Through a Singular Value Decomposition the two main coupled variability modes show SST patterns clearly associated with El Niño (EN) and El Niño Modoki (ENM), respectively, presenting great coupling strength with the corresponding seasonal precipitation modes in Colombia. The results reveal that, mainly in winter and summer, EN and ENM events are associated with a significant rainfall decrease over northern, central, and western Colombia. The opposite effect occurs in some localities during spring, summer, and autumn. The southwestern region of Colombia exhibits an opposite behavior connected to EN and ENM events during years when both events do not coexist, showing that the seasonal precipitation response is not linear. The partial regression analysis used to quantify separately the influence of the two types of ENSO on seasonal precipitation shows the importance of both types in the reconstruction process. The results

found establish the foundations for precipitation modeling in Colombia from the Pacific SST. The results establish the base for modeling and forecasting the seasonal Pt in Colombia from the tropical Pacific SST associated with El Niño and El Niño Modoki.

**Keywords:** Seasonal precipitation, Tropical Pacific SST, El Niño, El Niño Modoki, Singular Value Decomposition, Colombia.

## 1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de acoplamiento océano- atmósfera sobre el Océano Pacífico tropical más importante es conocido como El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), El Niño del Pacífico Oriental (Eastern Pacific, EP) o El Niño Canónico (ENC), el cual muestra un patrón con anomalías positivas (calentamiento anómalo) de la SST sobre el este del Pacífico tropical, acompañado de anomalías negativas (enfriamiento anómalo) en el oeste del Pacífico tropical (Rasmusson and Carpenter, 1982). Numerosas investigaciones orientadas al entendimiento, la predicción y el impacto climático de la SST asociada con El Niño han sido desarrolladas (Ropelewski and Halpert, 1987; Trenberth and Hoar 1996; Trenberth, 1997), logrando identificar su influencia sobre muchas regiones del planeta y estableciendo diversos índices para representar este fenómeno (Índices El Niño: 3, 4, 3.4, 1+2). Sin embargo, la interpretación sobre los patrones espaciales de la SST del Pacífico tropical ha ido evolucionando, hasta identificarse un nuevo tipo de evento El Niño, denominado El Niño Modoki, El Niño del Pacífico Central (Central Pacific, CP) o Pseudo Niño (Ashok *et al.*, 2007; Weng *et al.*, 2007).

Ashok *et al.* (2007) proponen el término de El Niño Modoki (ENM) para identificar el fenómeno de acoplamiento océano-atmosférico que registra anomalías positivas (cálidas) de la SST en el centro del Pacífico tropical y anomalías negativas (frías) en la región este y oeste del Pacífico tropical. Además, construyen el índice EMI para cuantificar el fenómeno de ENM y demuestran que este fenómeno presenta características espaciales y temporales diferentes al evento de ENC. Diversos autores describen estos dos tipos de Niño de formas diferentes (Ashok *et al.*, 2007; Weng *et al.*, 2007; Weng *et al.*, 2009), mostrando que el calentamiento en el centro del Pacífico es un fenómeno distinto del calentamiento sobre el este del Pacífico tropical. Las diferencias encontradas entre ENC y ENM respecto a los patrones de teleconexiones y los impactos climáticos que producen, también implican que estos dos fenómenos pueden ser estudiados de forma aislada (Ashok *et al.*, 2007; Weng *et al.*, 2007, 2009). Así, Ashok *et al.* (2007) afirman que durante los eventos ENM, se producen dos celdas anómalas de Circulación de Walker que producen un fuerte impacto sobre el trópico, principalmente durante el invierno y el verano boreal.

De otro lado El ENSO, a través de las teleconexiones establecidas con las ondas Rossby, los cambios relacionados con la circulación de Hadley o la circulación este-oeste asociada a la intensidad del gradiente de la SST tropical (Weng *et al.*, 2007) es responsable de la variación meteorológicas interanual en muchas regiones del Pacífico. Concretamente, el clima de América del Sur ha sido fuertemente relacionado con ENC por muchos autores (Ropelewski and Bell, 2008; Tedeschi *et al.* 2013), que, en resumen, concluyen que con el establecimiento de un evento El Niño (/La Niña) se registran disminuciones (/aumentos) de la precipitación (Pt) sobre el norte y noreste de América del Sur, y aumentos (/disminuciones) de Pt en el oeste de las costas del ecuador y las regiones sur y sureste del continente. De la misma forma, varios estudios revelan que la variabilidad climática de Colombia está fuertemente ligada con la SST del Pacífico tropical asociada a El Niño (/La Niña) (IDEAM, 2002; Poveda and Mesa,

1997; Montealegre y Pabón, 2000; Poveda *et al.*, 2011; Pabón, 2002) influyendo de forma directa en el medio ambiente, la sociedad y la economía del país.

Dado la importancia de los patrones de acoplamiento océano-atmósfera sobre la variabilidad climática regional, el objetivo principal de este estudio es analizar y cuantificar el impacto de ENC y ENM sobre la Pt estacional en Colombia. Estableciendo así, las bases para modelización de la Pt en Colombia a partir de la SST del Pacífico tropical.

En el presente estudio se ha establecido el siguiente orden: En la Sección 2, se presentan los datos y la metodología utilizada, en la Sección 3, los resultados y finalmente en la Sección 4, las conclusiones.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

En el presente estudio se utilizaron diversas bases de datos a escala mensual, para el periodo de 1979 a 2009. Los datos de Pt fueron proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). En total se emplearon 341 estaciones distribuidas en todo el país (Figura 1), cuya homogeneidad fue corroborada por el test F máximo penalizado (Wang, 2008).

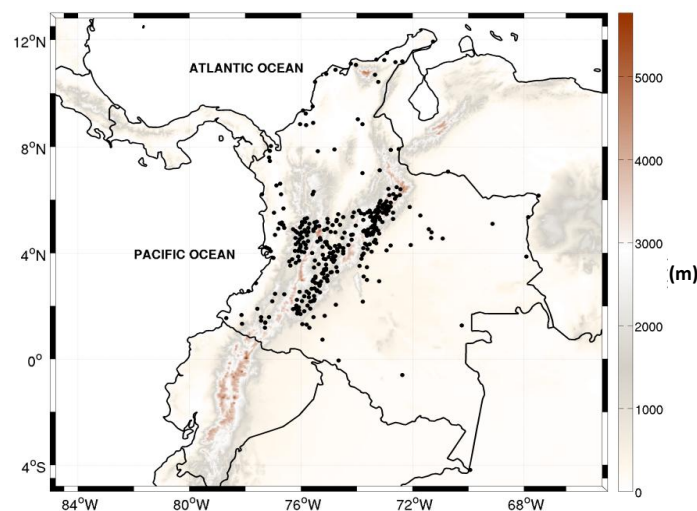


Fig. 1: Ubicación de las estaciones de precipitación en el área de estudio.

La base de datos de temperatura superficial del mar (SST) es la del Hadley Centre (HadISST, Rayner *et al.*, 2003) en el área del Pacífico Tropical de [120°E-70°W; 20°N-30°S]. La escala de análisis considerada cubre las estaciones de invierno (DEF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON). Para cada mes, las anomalías fueron calculadas respecto a la media del periodo 1979-2009, y estandarizadas dividiendo por la desviación estándar del mes en este periodo. Antes de realizar los análisis posteriores, se sustrajo la tendencia lineal en cada serie. Con el fin de encontrar los patrones (modos) espaciales acoplados entre las anomalías de la SST en el Océano Pacífico tropical y la Pt sobre Colombia se utiliza el análisis de Descomposición del Valor Singular (SVD). Una explicación detallada de esta técnica puede encontrarse en Bjornsson and Venegas (1997). Para identificar los dos tipos de El Niño se han

empleado los índices El Niño3 y índice El Niño Modoki (EMI), este último siguiendo la metodología propuesta por Ashok et al. (2007):  $EMI = [SSTA] C - 0.5 [SSTA] E - 0.5 [SSTA] W$ , en donde C es la región central (165°E-140°W, 10°S-10°N), E la región este (110°-70°W, 15°S-5°N), y W la región oeste (W: 125°-145°E, 10°S-20°N) sobre el Pacífico tropical. El valor del coeficiente de correlación entre los dos índices, durante el periodo de 1979–2009, es de 0.2, lo que indica que existe algún grado de relación entre estos dos fenómenos (Ashok *et al.*, 2007).

Por último, una vez establecida la vinculación existente entre los campos de Pt y SST del Pacífico tropical, se emplea un análisis de regresión parcial utilizando los Modos obtenidos en el SVD, para cuantificar de forma aislada la influencia de ENM, de la influencia de EN clásico en la Pt estacional de Colombia. Los resultados obtenidos en el análisis de regresión parcial son usados para reconstruir las series de anomalías de Pt. Los niveles de significación estadística de las correlaciones son calculados usando el test t-Student de dos colas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. SVD de la SST y Pt estacional en Colombia

El análisis SVD aplicado a los datos de Pt de Colombia y de SST del Pacífico tropical, revela que, en general, el primer y segundo modos encontrados están bien separados del segundo y tercer modos acoplados de variabilidad. La Figura 2 muestra los dos primeros modos para cada una de las estaciones del año, obtenidos a través del análisis de SVD acoplado, aplicado a las series mensuales de anomalías de la SST en el Océano Pacífico tropical y a las anomalías de Pt en Colombia, durante el periodo completo de 1979-2009. El primer modo acoplado de la SST, revela el tradicional patrón asociado al fenómeno de El Niño (Fig. 2a,) en todas las estaciones del año, comúnmente caracterizado por máximas anomalías positivas de la SST sobre el Océano Pacífico oriental y débiles anomalías negativas sobre el Océano Pacífico occidental, (Ropelewski and Halpert, 1987; Rasmusson and Carpenter, 1982). Este primer modo acoplado entre la SST y la Pt en Colombia explica para DEF el 88.7% de la covarianza cuadrada entre los dos campos, 50.1% en MAM, 73.7% en JJA y 83.9% para SON. La correlación entre las series de los coeficientes de expansión de la SST y de la Pt, para cada una de las estaciones usadas oscila entre 0.8 (DEF) y 0.85 (MAM) exhibiendo así, una gran fuerza de acoplamiento entre estas variables. Los coeficientes de expansión de la SST asociado a este modo en las distintas estaciones, presentan fuertes correlaciones ( $>0.95$ ) con el correspondiente índice estacional de El Niño3.

El segundo modo acoplado (Fig. 2a) entre las series mensuales de anomalías de la SST y de la Pt en Colombia explica el para DEF el 6.2% de la fracción de covarianza cuadrada entre ambos campos, en MAM el 20.4%, en JJA el 14% y para SON el 7.7%. La correlación entre las series de los coeficientes de expansión de la SST y de la Pt de Colombia es mayor que 0.8 en todas las estaciones del año, mostrando una importante fuerza de acoplamiento entre estos dos campos en el segundo modo. Este modo encontrado en la SST de todas las estaciones del año, es similar al patrón configurado por El Niño Modoki (Ashock *et al.*, 2007), el cual presenta un núcleo de valores positivos de la SST en el Océano Pacífico central, bordeado por anomalías negativas de la SST sobre el océano Pacífico oriental (cerca de las costas de América del Sur) y en el Océano Pacífico occidental (cerca de las costas de Australia), conformando así, una estructura en forma de bumerang o herradura sobre el Océano Pacífico tropical. La correlación entre el índice EMI y el coeficiente de expansión de la SST de este segundo modo, es mayor 0.9, en todas las estaciones del año.

En resumen la varianza acumulada explicada por el primer (EN) y segundo (ENM) modo supera el valor de 70% en todas las estaciones, siendo en invierno donde se obtiene el valor

más alto (94.9%). Además, tanto en el primer modo como en el segundo, todos los valores de correlación mostrados resultan significativos al nivel de confianza del 95%.

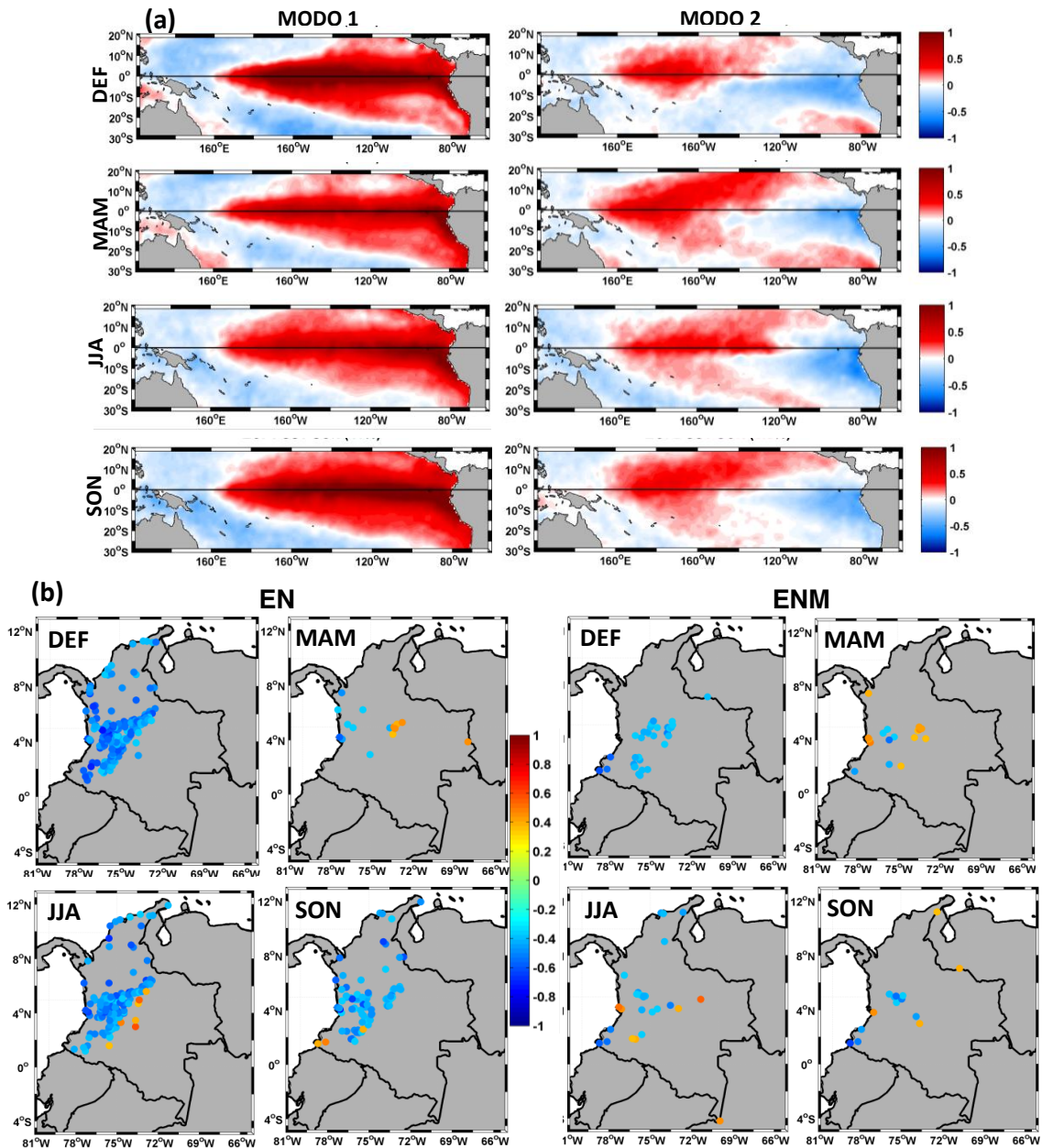


Fig. 2: Modos 1 (El Niño) y 2 (El Niño Modoki) estacional de la SST del Pacífico tropical (a, arriba) y de la Pt en Colombia (b, abajo), obtenidos del SVD durante el periodo 1979-2009. En el panel (b) se representan sólo las correlaciones significativas al nivel del 95%.

Los modos del campo de Pt (Fig. 2b), son representados por las correlaciones entre el coeficiente de expansión asociado a las anomalías de la SST y las anomalías de Pt sobre

Colombia (mapas de correlaciones heterogéneas) en cada una de las estaciones del año. El primer modo de Pt (Fig. 2b EN), muestra significativos valores negativos de correlaciones sobre el centro, el norte y el occidente de Colombia, principalmente en DEF, JJA y SON. Al igual que ocurre en JJA, en MAM las correlaciones negativas sobre el occidente de Colombia son acompañadas por correlaciones positivas significativas en el este del centro del país. Durante SON se registran pocas correlaciones positivas significativas sobre el extremo sur occidental de Colombia. Las correlaciones negativas significativas encontradas, indican que las anomalías positivas de la SST sobre la región del Pacífico tropical (El Niño) están asociadas con anomalías negativas de la Pt sobre el occidente, centro y norte de Colombia principalmente.

El segundo modo de Pt (Fig. 2b ENM), muestra correlaciones negativas significativas sobre el suroccidente y en la parte central-occidental de Colombia, durante todas las estaciones del año. El norte del país presenta correlaciones negativas principalmente en JJA. Las correlaciones significativas positivas se registran un poco más desplazadas hacia el este del centro de Colombia, principalmente en MAM y JJA. En este modo el número de localidades con correlaciones negativas significativas encontradas en cada estación del año, disminuyen en comparación con las registradas por el primer modo. Cabe destacar que durante SON (MAM), en el segundo modo (ENM) se obtienen correlaciones negativas (positivas) sobre el extremo sur-occidente (noroccidente) de Colombia, mientras que las correlaciones mostradas en el primer modo (EN) para esta misma zona, registran valores positivos (negativas).

En resumen, a partir del análisis SVD se observa que tanto el patrón de EN como ENM presentan una significativa relación negativa con las precipitaciones sobre Colombia, siendo ésta más clara para EN. Sin embargo, es interesante notar que se encuentran zonas que no resultan influenciadas durante El Niño pero sí durante El Niño Modoki (y viceversa), o que una misma zona puede presentar un relación opuesta con cada fenómenos (ejemplo. suroccidente de Colombia). Además, también se pueden encontrar correlaciones positivas entre la Pt estacional de algunas localidades y estos dos fenómenos. Así, los resultados ponen de manifiesto que tanto el primer modo encontrado (asociado al ENSO) como el segundo modo (asociado con ENM), influyen significativamente sobre la Pt estacional en Colombia.

### 3.2. Reconstrucción de la precipitación en Colombia

La Figura 3 presenta los coeficientes de regresión parcial, para cada estación del año, entre las series temporales de los coeficientes de expansión de los dos primeros modos obtenidos a partir del análisis SVD de la SST del Pacífico tropical (representativos de EN y ENM) y las anomalías de Pt en Colombia. Los coeficientes de regresión relacionados con el fenómeno de EN (Fig. 3, EN) muestran reducciones de la Pt que pueden alcanzar los 90 mm/°C principalmente sobre el occidente de Colombia, durante DEF, JJA y SON. El centro y norte del país presentan disminuciones entre 10 y 50 mm/°C, en estas estaciones. En MAM destacan aumentos entre 20 y 40 mm/°C en el centro y este de Colombia. Los coeficientes de regresión relacionados con El Niño Modoki (Fig. 3, ENM), presentan una reducción importante (entre 20 y 60 mm/°C) sobre el suroccidente de Colombia, en todas las estaciones del año. Al igual que para El Niño, las reducciones de Pt durante el DEF y los aumentos en MAM sobre el centro del país oscilan entre los 20 y 40 mm/°C.

Empleando los coeficientes de regresión parcial mostrados en la Figura 3 y los coeficientes de expansión de los dos primeros modos de la SST del Pacífico tropical, se ha llevado a cabo la reconstrucción de las series de Pt para las cuatro estaciones del año (Fig. 4). Se observa que la reconstrucción obtenida por los dos modos durante todas las estaciones del año (Fig. 4b), en general muestra un importante aumento en cuanto al número de localidades que superan el valor de correlación de 0.5, así como también, un aumento en el valor de la correlación para

muchas zonas del país, en comparación con las reconstrucciones de la Pt obtenidas en cada estación del año, usando sólo el coeficientes de expansión asociado con EN (Fig. 4a). Durante la estación de MAM, no se obtiene ninguna reconstrucción de la Pt, que supere el umbral de correlación establecido (Fig. 4a MAM), cuando solo ha sido empleado el modo EN para calcular dichas reconstrucciones. Sin embargo al incluir ENM en el proceso de reconstrucción se logran obtener varias localidades que representa una aceptable reconstrucción de la Pt. Los resultando anteriores revelan la importancia del segundo modo del Pacífico tropical, asociado con El Niño Modoki para reconstruir las series estacionales de Pt en Colombia.

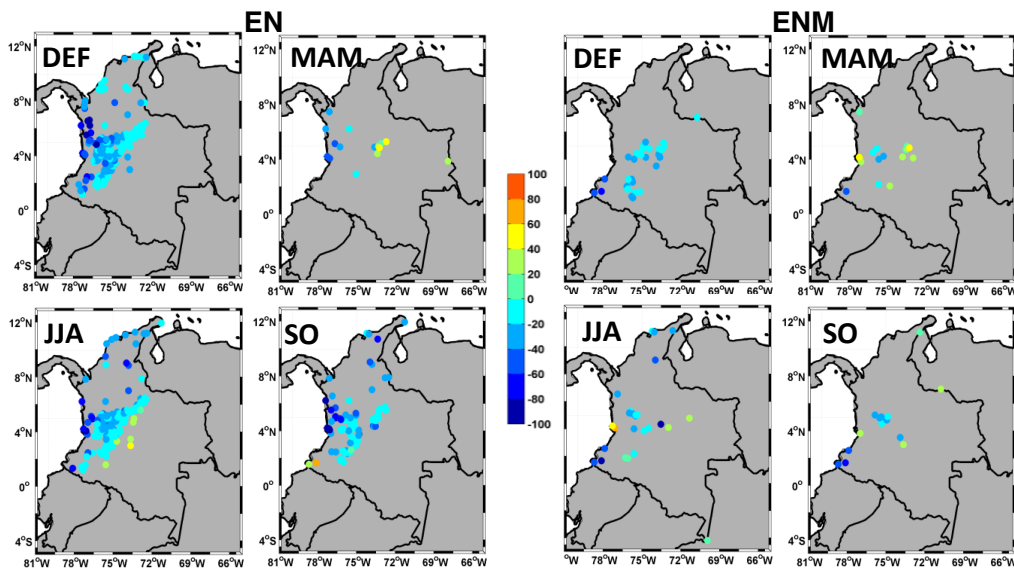


Fig. 3: Coeficientes de regresión (en mm/°C), estacionales, obtenidos a partir de la regresión parcial entre las series temporales de los coeficientes de expansión de los dos primeros modos procedentes del análisis SVD de la SST del Pacífico tropical y las series de anomalías estacionales de Pt en Colombia. Se muestran sólo aquellas estaciones cuyas series de Pt presentan una correlación significativa al 95% con los coeficientes de expansión de la SST. Las estaciones de DEF y JJA obtienen mayor número de localidades con una aceptable reconstrucción en comparación con MAM y SON, mostrando correlaciones ( $>0.5$ ) principalmente sobre el centro, norte y occidente del país. La raíz cuadrada del error cuadrático medio presenta valores entre 20 y 50 mm sobre dichas zonas. Los mayores valores del error ( $>80$  mm) se ubican sobre la región occidental del país, fundamentalmente en la zona más próxima a la costa Pacífica, donde se encuentran las zonas más lluviosas del país (Eslava, 1994).

La importancia del segundo modo de variabilidad de la SST del Pacífico tropical para reconstruir las series de Pt en algunas regiones de Colombia, también se observa en la Figura 5, donde se muestran las series temporales de la Pt original, la Pt reconstruida empleando el coeficiente de expansión del primer modo (El Niño) y la Pt reconstruida usando los coeficiente de expansión correspondientes a los dos primeros modos (EN + ENM), para 6 localidades distribuidas desde el Nordeste al Suroeste de Colombia (punto rojo en el mapa de Colombia) durante la estación de invierno. Las 6 localidades obtienen un valor de correlación mayor que 0.5, entre la series original y reconstruida de Pt cuando se emplean los coeficientes



de expansión de los dos primeros modos del Pacífico (EN + ENM), además se muestra que estas series reconstruidas representan mejor los valores extremos de las anomalías de Pt, en comparación con la serie de Pt reconstruida empleando sólo el coeficiente de expansión asociado al EN.

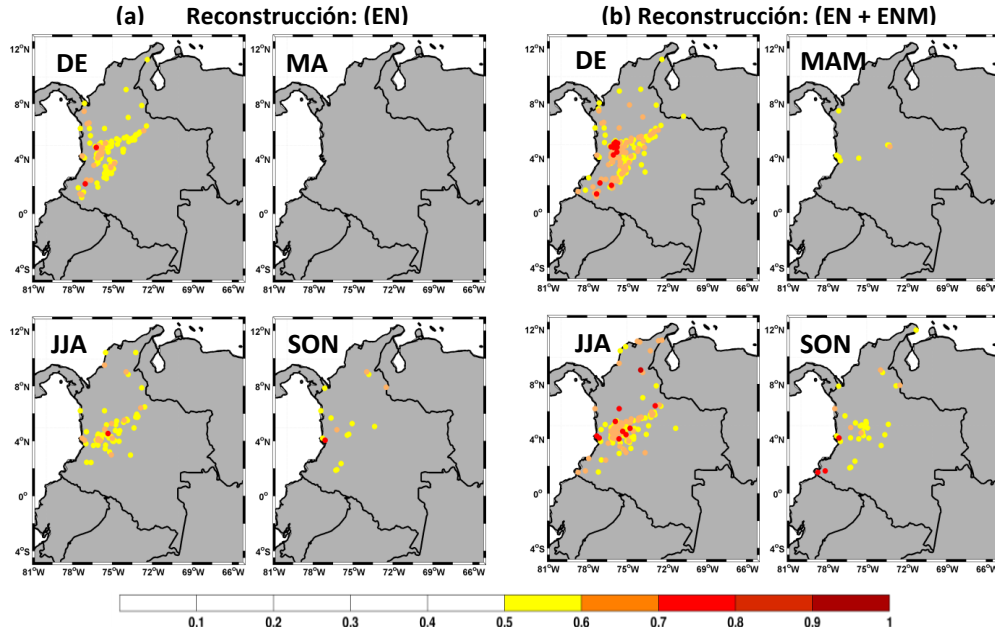


Fig. 4: Correlación entre las series originales y reconstruidas de Pt mediante regresión parcial, con los coeficientes de expansión de los dos primeros modos de la SST en el Pacífico tropical: (a) EN y (b) ENM), en cada estación del año. Sólo se muestran las correlaciones > 0.5. Por último, se aprecia que a medida que las localidades se encuentran ubicadas más hacia el Suroeste del país, la contribución del segundo modo de variabilidad del Pacífico tropical para la reconstrucción de la Pt es más importante.

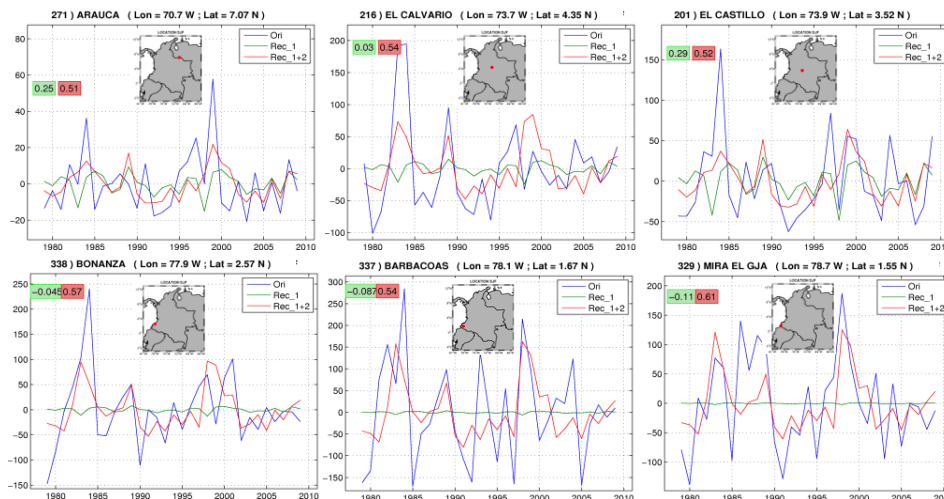


Fig. 5: Series de anomalías de Pt para 6 localidades de Colombia (puntos rojos en los mapas de Colombia) durante el invierno, ubicadas de noreste a suroeste. Pt original (azul), Pt reconstruida con el modo EN (verde), y Pt reconstruida con EN+ ENM (rojo). En los cuadros



verde y rojo se muestran las correlaciones entre la serie original y las series reconstruidas empleando EN y EN+ ENM respectivamente.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza la influencia de la SST del Pacífico tropical en la variabilidad de la Pt estacional en Colombia durante el periodo 1979-2009. Para todas las estaciones del año el primer modo obtenido a través del análisis de SVD entre las anomalías de la SST del Pacífico tropical y la Pt estacional en Colombia está asociado con el fenómeno de El Niño, mientras que el segundo modo está asociado con el fenómeno de El Niño Modoki. En general el modo asociado con el fenómeno de El Niño explica el mayor porcentaje de covarianza cuadrada en cada una de las estaciones del año en comparación con el modo asociado al fenómeno de El Niño Modoki, aunque ambos presentan una gran fuerza de acoplamiento con los modos correspondientes de la Pt estacional en Colombia. Todas las correlaciones que indican la fuerza de acoplamiento entre la SST y la Pt estacional, son superiores a 0.8, significativas al 95% del nivel de confianza. Estos valores y los encontrados en los mapas de correlaciones heterogéneos revelan la importante relación que posee la SST del Pacífico tropical con la variabilidad de la Pt en Colombia.

Durante los eventos de El Niño (La Niña) y de El Niño Modoki (La Niña Modoki) se presenta una disminución (aumento) significativa de las precipitaciones sobre el norte, centro y occidente de Colombia principalmente durante el invierno y el verano. Sin embargo, también se encuentra que en algunas localidades, en verano, primavera y otoño, se produce el efecto contrario.

En el suroccidente de Colombia el fenómeno de El Niño Modoki presenta una notable influencia sobre la Pt estacional. Además en esta región durante el otoño se exhibe un aumento de la Pt con la ocurrencia de El Niño, mientras que durante El Niño Modoki se registra una disminución, mostrando una respuesta contraria con la ocurrencia de estos dos tipos de Niños. Diversos autores han analizado la influencia del fenómeno de El Niño sobre la Pt en Colombia y el Norte de Suramérica (Poveda and Mesa 1997; Poveda *et al.*, 2011; Pabón, 2002; Tedeschi *et al.*, 2013) con resultados que concuerdan esencialmente con los encontrados en este estudio, sin embargo son pocos los trabajos que como este, estudian el impacto de El Niño Modoki sobre el clima de Colombia y exploran la habilidad que este fenómeno posee para reconstruir la variabilidad de la Pt sobre el país.

Los dos tipos de ENSO, muestran una importante capacidad para reconstruir la Pt estacional en Colombia, principalmente durante DEF, JJA y SON. Aunque el fenómeno de El Niño predomina sobre la variabilidad de la Pt, para la reconstrucción de las series originales de Pt se revela la fuerte contribución obtenida con El Niño Modoki, mayor para las localidades en el suroccidente, más cerca del Pacífico tropical. Este estudio se convierte en un primer paso para investigaciones direccionadas hacia la construcción de modelos de predicción que permitan estimar la Pt estacional en Colombia, a partir los principales modos de variabilidad de la SST del Pacífico tropical, basados en la persistencia temporal de su relación con la Pt.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

La Universidad Tecnológica del Chocó y COLCIENCIAS financian la estancia de S. Córdoba y R. Palomino en la Universidad de Granada. Este trabajo ha sido subvencionado por los proyectos CGL2010-21188/CLI (MICINN, FEDER) y P11-RNM-7941 (Junta de Andalucía).

## 6. REFERENCIAS

- Ashok, K.; Behera, S.K.; Rao, S.A.; Weng, H. and Yamagata, T. (2007). "El Niño Modoki and its possible teleconnection". *J. Geophys. Res.*, 112 (C11). doi:10.1029/2006jc003798.
- Björnsson, H. and Venegas, S.A. (1997). *A Manual of EOF and SVD Analysis of Climatic Data*. CCGCR Report No. 97-1, Montréal, Québec, 52pp.
- Eslava, J.A. (1994). *Climatology of Colombian Pacific* (in Spanish). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales, Colección Eratóstenes 1, Bogotá, Colombia. 79pp.
- IDEAM. (2002). *Efectos naturales y socioeconómicos del Fenómeno El Niño en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Bogotá, D.C. 58pp.
- Montealegre, J.E 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*, 2, pp.7-21.
- Pabón, J.D. (2002). "Fenómeno El Niño: Efectos e Impactos en el Pacífico Colombiano". *El Mundo Marino de Colombia*, pp.64-73.
- Poveda, G., Mesa, O.J. (1997). "Feedbacks between Hydrological Processes in Tropical South America and Large-Scale Ocean-Atmospheric Phenomena". *J. Clim.*, 10, pp.2690-2702.
- Poveda, G.; Álvarez, D.; Rueda, Ó. (2011). "Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots". *Clim. Dynam.*, 36, pp.2233-2249.
- Poveda, G. (2004). "The hydro-climatology of Colombia: a synthesis from inter-decadal to diurnal timescales" (in Spanish). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 28 (107), pp.201-222.
- Rasmusson, E.M. and Carpenter, T.H. (1982). "Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño". *Mon. Weather Rev.*, 110 (5), pp.354-384.
- Rayner, N.A.; Parker, D.E.; Horton, E.B.; Folland, C.K.; Alexander, L.V.; Rowell, D.P.; Kent E.C.; Kaplan, A. (2003). "Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century". *J. Geophys. Res.*, 108(D14), 4407, doi:10.1029/2002JD002670.
- Ropelewski, C.F. and Bell, M.A. (2008). "Shifts in the Statistics of Daily Rainfall in South America Conditional on ENSO Phase". *J. Climate*, 21 (5), pp.849-865.
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. (1987). "Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation". *Mon. Weather Rev.*, 115, pp.1606-1626.
- Tedeschi, R.G.; Cavalcanti, I.F.A. and Grimm, A.M. (2013). "Influences of two types of ENSO on South American precipitation". *Int. J. Climatol.*, 33 (6), pp.1382-1400.
- Trenberth, K.E. (1997). "The Definition of El Niño". *Bull. Am. Met. Soc.* 78 (12), pp.2771-2777.
- Trenberth, K.E. and Hoar, T.J. (1996). "The 1990–1995 El Niño-Southern Oscillation Event: Longest on Record". *Geophys. Res. Lett.*, 23 (1), pp.57-60. doi:10.1029/95gl03602.
- Weng H.; Ashok K.; Behera S.; Rao S.; Yamagata T. (2007). "Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer" *Clim. Dynam.* 29, pp.113-129.
- Weng, H., Behera, S. Yamagata T. (2009). "Anomalous winter climate conditions in the Pacific rim during recent El Niño Modoki and El Niño events". *Clim. Dynam.*, 32 (5), pp.663-674.
- Wang, X.L. (2008). "Penalized Maximal F Test for Detecting Undocumented Mean Shift without Trend Change". *J. Atmos. Ocean Tech.*, 25 (3), pp.368-384.