



Bulletin de l'Institut français d'études andines  
ISSN: 0303-7495  
[secretariat@ifea.org.pe](mailto:secretariat@ifea.org.pe)  
Institut Français d'Études Andines  
Organismo Internacional

Poveda, Germán; Gil, Marta María; Quiceno, Natalia  
El ciclo anual de la hidrología de Colombia en relación con el ENSO y la NAO  
Bulletin de l'Institut français d'études andines, vol. 27, núm. 3, 1998  
Institut Français d'Études Andines  
Lima, Organismo Internacional

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627334>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

## EL CICLO ANUAL DE LA HIDROLOGÍA DE COLOMBIA EN RELACIÓN CON EL ENSO Y LA NAO

Germán POVEDA \*, Marta María GIL \*, Natalia QUICENO \*

### Resumen

Se cuantifica la dependencia del ciclo anual de la hidroclimatología de Colombia con respecto del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Se usan los resultados del Proyecto de Reanálisis Climático de NCEP/NCAR para identificar los mecanismos de la circulación involucrados en las anomalías climáticas en la región de Suramérica tropical durante las fases extremas del ENSO (El Niño y La Niña). De particular importancia, el debilitamiento, durante El Niño, de la corriente de chorro superficial del oeste que penetra desde el Océano Pacífico hacia el interior de Colombia es un mecanismo de la circulación que coadyuva para explicar las anomalías hidrológicas. Los resultados confirman la fuerte influencia del ENSO y la NAO sobre las lluvias y los caudales de Colombia, en particular durante los trimestres septiembre-octubre-noviembre y diciembre-enero-febrero.

**Palabras claves:** *El Niño/Oscilación del Sur, ENSO, Oscilación del Atlántico Norte, Colombia, hidroclimatología tropical, variabilidad interanual, Reanálisis NCEP/NCAR.*

### INFLUENCE DE L'ENSO ET DE LA NAO SUR LE CYCLE ANNUEL DE L'HYDROLOGIE DE COLOMBIE

### Résumé

On évalue l'impact de El Niño-Oscillation du Sud (ENSO) et de l'Oscillation de l'Atlantique Nord (NAO) sur le cycle annuel hydrologique colombien. Les résultats du Projet de Réanalyse Climatologique NCEP/NCAR ont été utilisés pour identifier les mécanismes de la circulation atmosphérique qui interviennent dans cette région au cours des phases extrêmes de l'ENSO. En particulier, l'affaiblissement du courant jet inférieur d'ouest, qui se propage du Pacifique vers l'intérieur de la Colombie, est l'un des principaux mécanismes de circulation susceptible de nous aider à expliquer les anomalies hydrologiques en situation El Niño. Les résultats confirment l'importance de l'influence de l'ENSO et de la NAO sur les précipitations et les débits de Colombie, en particulier au cours des trimestres de septembre-octobre-novembre et de décembre-janvier-février.

**Mots-clés :** *El Niño/Oscillation du Sud, ENSO, Oscillation de l'Atlantique nord, Colombie, hydroclimatologie tropicale, variabilité interannuelle, Ré-analyse, NCEP/NCAR.*

\* Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, AA 1027, Medellín, Colombia, e-mail: gpoveda@perseus.unalm.edu.co

## THE ANNUAL CYCLE OF THE HYDROLOGY IN COLOMBIA IN RELATION TO THE ENSO AND NAO

### Abstract

The impact of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon ENSO and of the North Atlantic Oscillation (NAO) on the annual cycle of the Colombian hydroclimatology is quantified. Results of the NCEP/NCAR Climatic Reanalysis Project are used to compare the climatology of the annual cycle of diverse variables and to evaluate the behaviour during the extreme phases of ENSO. Of particular importance, during El Niño there is a weakening of the low-level westerly jet penetrating from the Pacific Ocean inland Colombia, that constitutes one main circulation mechanism that helps to explain the observed negative hydrological anomalies during El Niño in Colombia. Correlation analysis confirm the strong influence of ENSO and NAO on the annual cycle of rainfall and river discharges anomalies in Colombia, in particular during SON and DJF.

**Key words:** *El Niño/Southern Oscillation, ENSO, North Atlantic Oscillation, Colombia, tropical hydro-climatology, interannual variability, Reanalysis NCEP/NCAR*

### INTRODUCCIÓN

Hay buena coherencia entre las anomalías hidrológicas en el trópico de Suramérica (Colombia, Venezuela, Guyana y la cuenca del Amazonas) y las dos fases del ENSO. La hidrología superficial juega un papel importante en la dinámica del ENSO sobre la región (Poveda & Mesa, 1997). Con ciertas diferencias en el tiempo y en la amplitud, estas regiones exhiben anomalías negativas en lluvias y caudales durante El Niño, y lo contrario durante La Niña. Durante El Niño se establece una celda anómala de Hadley sobre el norte de Suramérica (Rasmusson & Mo, 1993), cuya componente descendente previene el ascenso convectivo sobre la región y contribuye a la disminución de la precipitación. La intensidad de esa celda de Hadley es modulada por la interacción tierra-atmósfera. Hastenrath (1976), Aceituno (1988) y Hastenrath & Greischar (1993) sugieren que las anomalías hidroclimáticas sobre la región están asociadas a un desplazamiento hacia el ecuador de la Alta del Atlántico Norte. Ello ayuda a explicar el desplazamiento del centro de convección de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia el suroeste de su posición normal (Pulwarty & Diaz, 1993). Otros dos fenómenos se conjugan: la disminución de la advección de humedad proveniente del Océano Pacífico hacia el interior del continente y la disminución en número e intensidad de ondas del este sobre el Océano Atlántico tropical Norte y el Mar Caribe (Poveda & Mesa, 1997). En la sección 1, se presentan resultados del Reanálisis Climático de NCEP/NCAR sobre la región alrededor de Colombia, en cuanto a los ciclos anuales de la climatología y al contraste entre las fases extremas del ENSO. En la sección 2, se presentan correlaciones trimestrales entre registros de caudales y lluvias con el Índice de Oscilación del Sur (SOI) y con el Índice de la NAO.

### 1. MECANISMOS DE LA INTERACCIÓN ATMÓSFERA-SUELO

En esta sección se utilizan los resultados del Proyecto de Reanálisis Climático desarrollado por el *National Center for Environmental Prediction (NCEP)/National*

*Center for Atmospheric Research (NCAR)*, de Estados Unidos (Kalnay *et al.*, 1996). La información base comprende el período 1982-1994. Se identifican algunos mecanismos de la circulación atmosférica y de la hidrología superficial relacionados con las anomalías climáticas alrededor de Colombia durante las fases extremas del ENSO: El Niño de 1982-1983, 1986-1987 y 1991-1992 y para la fase fría de 1988. Los análisis se efectuaron para los trimestres MAM, JJA, SON del año 0 y el trimestre DEF del año +1 del evento ENSO. En las figuras 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos para los campos de velocidad del viento zonal a los 925 hPa, y la distribución vertical de la componente zonal del viento a los 80°Oeste entre los 5°S y 15°N. La fila superior de las figuras 1 y 2 presenta el ciclo anual de la climatología, y la inferior muestra las diferencias relativas entre los campos para los extremos del ENSO, para contrastar el comportamiento durante El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría), lo cual es útil para propósitos de cuantificación y diagnóstico. Los resultados más importantes se discuten a continuación.

### 1. 1. Velocidad del Viento Zonal a 925 hPa (Fig. 1)

Sobre la costa Pacífica de Colombia se presentan vientos superficiales del oeste con un marcado ciclo anual. El comportamiento de los vientos a los 925 hPa durante los extremos del ENSO muestra una fuerte intensificación de la corriente de chorro de bajo nivel del oeste durante la fase fría del ENSO, así como un debilitamiento durante El Niño. Este es uno de los mecanismos más importantes para explicar las anomalías de precipitación, humedad de suelo y temperaturas durante El Niño en Colombia.

### 1. 2. Componente zonal del viento a la Longitud 80°O (Fig. 2)

La figura 2 presenta la distribución vertical del viento zonal a los 80°O, desde los 5°S a los 15°N. La climatología de estos vientos confirma el comportamiento establecido en la figura 1, donde se destaca la existencia de una corriente de chorro de bajo nivel del oeste, proveniente del Océano Pacífico por los 5°N, que penetra al interior de Colombia, con un fuerte ciclo anual (Poveda, 1997), casi imperceptible para los meses de enero y febrero, alcanzando su máxima intensidad en los meses de agosto a noviembre (en octubre con un máximo de 6 m/s). Esta corriente de chorro contribuye a la advección de humedad por parte de vientos fríos que interactúan con los vientos alisios predominantes del este, causando alta inestabilidad atmosférica, y por tanto fuerte convección profunda y altísima precipitación sobre la costa Pacífica Colombiana. Esta corriente de chorro está también asociada a la formación de complejos convectivos de mesoescala que penetran desde el Océano Pacífico hacia el interior de Colombia (Velasco & Frisch, 1987). En la climatología también se observa el fuerte ciclo anual de los alisios del este alrededor de los 600 hPa entre 5°S y 8°N. Los diagramas de la diferencia entre los extremos del ENSO muestran valores negativos superficiales hasta los 600 hPa, significando la intensificación de los alisios del oeste superficiales durante las fases frías (La Niña) y el debilitamiento durante las fases cálidas (El Niño). Este mecanismo es fundamental para explicar el signo de las anomalías de precipitación, humedad de suelo y temperaturas del aire que se presentan en Colombia durante las dos fases.

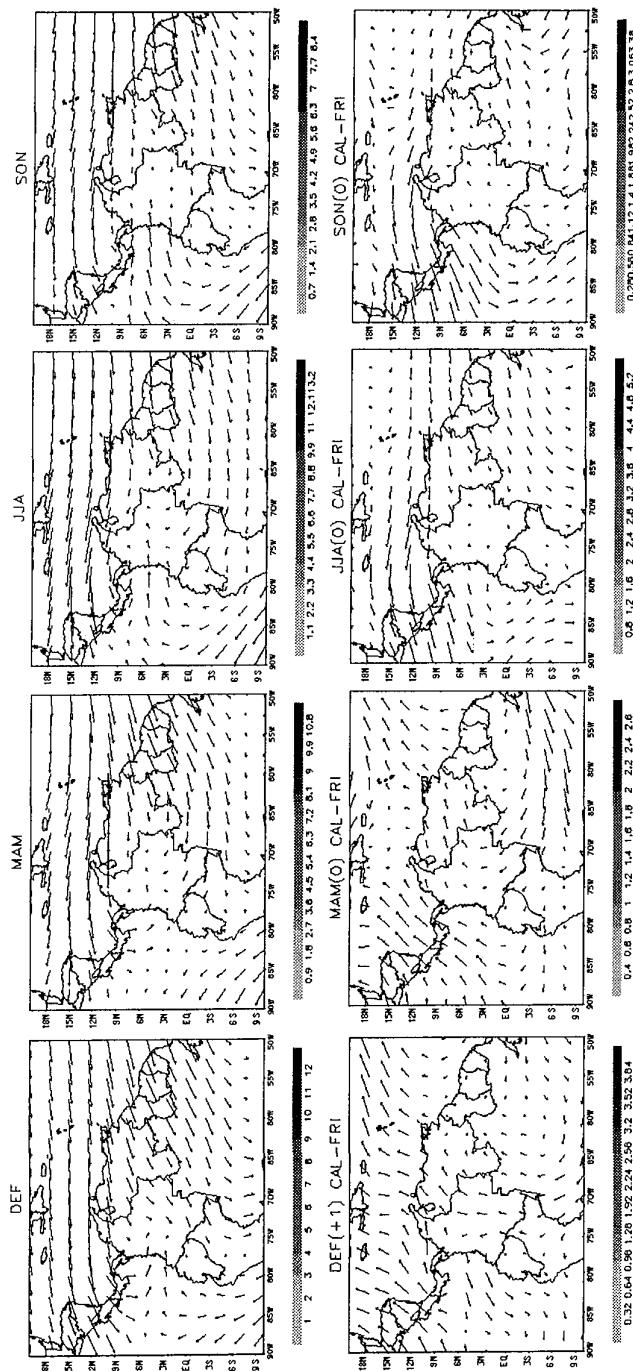


Fig. 1 - Ciclo anual Velocidad de viento 925 mb (m/s) (superior) - Diferencia entre eventos cálidos y fríos (inferior).

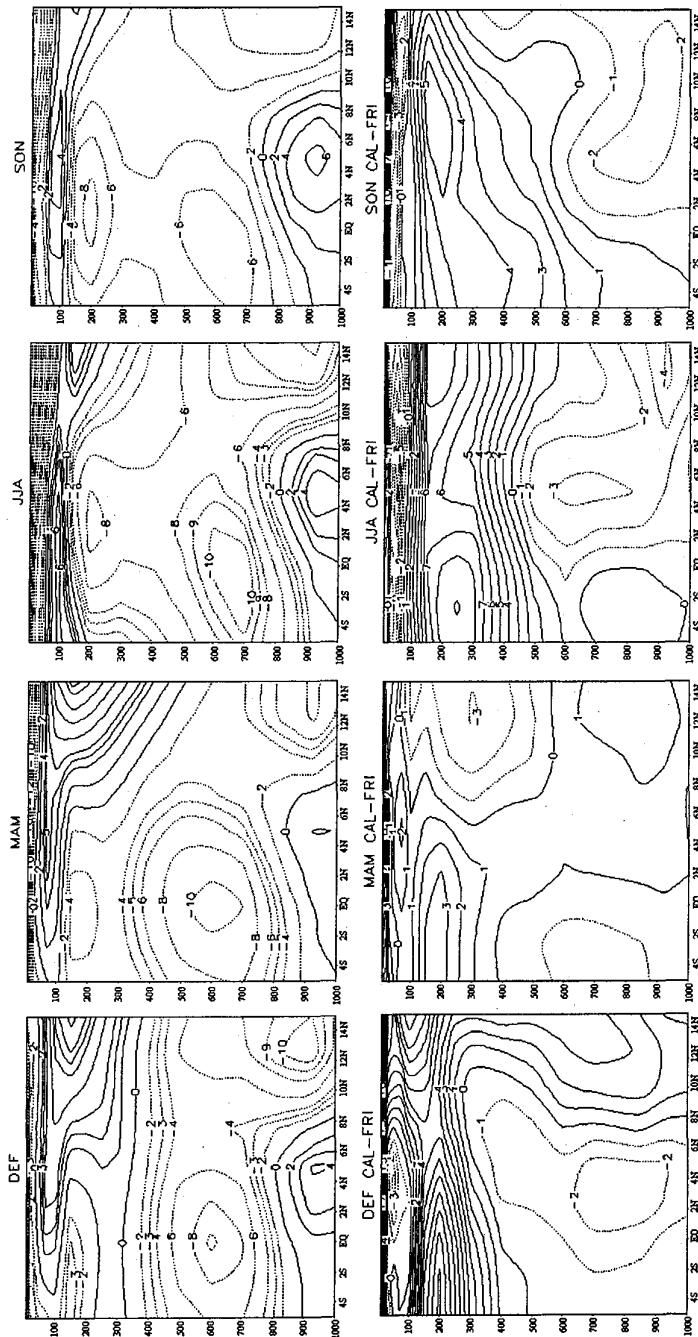


Fig. 2 - Ciclo anual de Velocidad de viento zonal en 80W (m/s) (superior) - Diferencia entre eventos cálidos y fríos (inferior).

### 1. 3. Precipitación Total

El ciclo anual de la climatología revela la altísima pluviosidad de la costa oeste de Colombia, y la oscilación latitudinal de la ZCIT con el año. El comportamiento diferencial durante las fases extremas del ENSO confirma los excesos de precipitación durante la fase fría con relación a la situación durante El Niño, especialmente en los trimestres SON(0) y DEF(+1) y un poco menos para JJA(0). La mayor diferencia entre ambas anomalías se registra en el Chocó para el trimestre DEF con un valor de 7 mm/d. Sólo hay una pequeña región de Colombia, restringida hacia la zona oriental de la Orinoquia, que presenta anomalías positivas de precipitación durante El Niño en la estación JJA. Tal situación puede explicarse en términos de la advección de humedad desde la cuenca Amazónica hasta esa región, facilitada por el debilitamiento de los alisios del oeste que penetran desde el Pacífico al interior del país.

### 1. 4. Contenido de humedad en los primeros 10 cm del suelo

Para el trimestre MAM, se observa que el mayor contenido de humedad se da en la región Pacífica y en el sur del país. Estos valores se hacen más débiles en la costa del Caribe. Para el trimestre JJA, en los límites con Venezuela se intensifican los valores de humedad, mientras que en el Pacífico continúa preservando los valores altos pero siendo más fuertes en la región comprendida entre 4°N y 8°N extendiéndose hasta aproximadamente los 72°O. En SON la variable asume una tendencia similar a la descrita en MAM, sólo que en esta parte del año las zonas con mayor contenido de humedad en el suelo se hacen más extensas. Para el último y primer trimestres del año, el comportamiento es similar. Con relación a las dos fases del ENSO, se observa un mayor contenido de humedad del suelo durante la fase fría a lo largo de todo el año, excepto en el trimestre MAM y el oriente en JJA. Se destaca que los más altos contenidos de humedad se concentran en el sur y parte del occidente y centro del país. Durante El Niño, hay déficits de humedad en casi toda Suramérica tropical, de acuerdo con los resultados del Reanálisis de NCEP (Poveda, 1997). Es claro que esta variable no es medida sino derivada en el Reanálisis, pero dado que se presentan anomalías negativas de lluvias, caudales y evaporación durante El Niño en esta región, es obvio este comportamiento de la humedad de suelo. Los caudales de los ríos son una buena medida indirecta de la humedad del suelo, dados los mecanismos que controlan su variabilidad espacio-temporal, y su memoria hidrológica.

## 2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Para examinar la influencia del ENSO y la NAO sobre el ciclo anual de la hidroclimatología de Colombia se cuantifica el grado de dependencia lineal existente entre tales variables, mediante la estimación de correlaciones cruzadas para diferentes rezagos. Se calcularon correlaciones cruzadas entre los trimestres de la variable macroclimática con cada uno de los trimestres de la variable hidrológica. Los resultados se obtuvieron con las series sin estandarizar. Las correlaciones se estimaron considerando que la variable macroclimática antecede a la variable hidrológica. La confiabilidad de estas estimaciones se determinó a partir del cálculo de la significancia estadística para

valores entre el 90% y el 99%, de acuerdo con la prueba F, y corrigiendo el número de grados de libertad con la escala de fluctuación del proceso (Vanmarcke, 1988). Los resultados obtenidos permiten establecer las conclusiones que se describen a continuación.

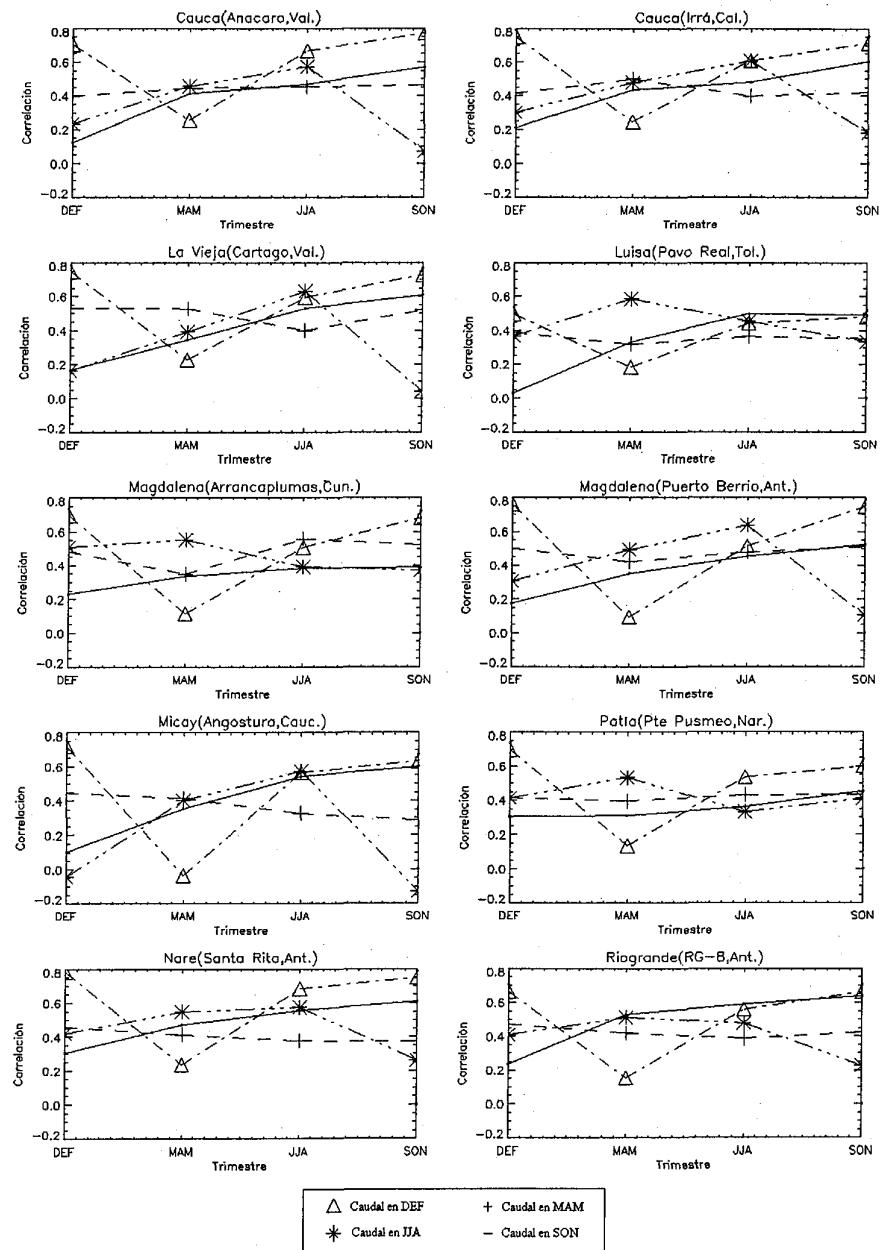
## 2. 1. Correlaciones con el SOI

Se presentan altas correlaciones positivas significativas entre el Índice de Oscilación de Sur y los registros de caudales mensuales de 50 ríos colombianos. Es importante anotar la marcada tendencia que se da en varias de las regiones en donde las máximas correlaciones se obtienen para los caudales de DEF y MAM sobresaliendo las correlaciones simultáneas, y las de el SOI de SON con los caudales de DEF. En la mayoría de las regiones, la correlación entre el SOI y los caudales del trimestre JJA se debilita. La dependencia de las dos variables es más fuerte para las estaciones cercanas al Océano Pacífico. De acuerdo a los resultados obtenidos, la mayor influencia está dada en las estaciones del Cauca y Valle del Cauca, le sigue en orden de importancia la influencia que se da en los ríos de Antioquia, mientras que las correlaciones son menores para los departamentos ubicados en la zona oriental (Cundinamarca y Boyacá). En la figura 3, se muestran los resultados de los análisis de correlación cruzada entre el SOI y las series de caudales de 10 ríos de Colombia, en donde se aprecia el valor del coeficiente de correlación entre el SOI en el trimestre indicado en el eje de las abscisas y los caudales de los trimestres indicados por las diferentes líneas y marcadores, que se anotan al pie de la figura 3.

Con relación a la precipitación los resultados obtenidos fueron altos e indican una alta correspondencia (correlaciones positivas) entre ambas variables; la tendencia muestra las más altas correlaciones para la precipitación simultánea de DEF y en algunos casos para JJA, y la dada entre la precipitación de DEF con la variable en SON; la mayoría de las correlaciones se debilitan para la precipitación de MAM. La dependencia de las variables es fuerte en el Pacífico, especialmente en el Valle del Cauca y Cauca; también sobresalen las correlaciones para Antioquia, algunas en el Chocó y Cundinamarca, mientras que las correlaciones más bajas corresponden a las estaciones localizadas en la costa del Caribe.

## 2. 2. Correlaciones con la NAO

El trabajo de Poveda & Mesa (1996) explora las correlaciones entre la hidrología de Colombia y el índice de la Oscilación del Atlántico Norte, sin considerar la influencia del ciclo anual. En la zona de la costa Atlántica, la señal es más fuerte que en el resto del país. Además es de diferente sentido, siendo las correlaciones negativas para las estaciones sobre la Costa Caribe y positivas para las estaciones del centro y sur de Colombia, al parecer debido a la intensidad de los vientos alisios dentro del ciclo anual. Al considerar las correlaciones con el ciclo anual, se identifican los siguientes rasgos generales. Las correlaciones más altas (negativas) se presentan en las estaciones de lluvias y caudales localizadas en la zona de la costa del Caribe. Las correlaciones más significativas se presentan entre el índice de la NAO en MAM y los caudales de los ríos en DEF. También sobresalen las correlaciones correspondientes al índice en DEF con los caudales de JJA y SON. En orden de valor, continúan las correlaciones (positivas)



**Fig. 3 - Coeficientes de correlación entre el Índice de Oscilación del Sur (SOI) y 10 estaciones de medición de caudales en Colombia.**

obtenidas para los ríos de Antioquia. Y luego a medida que se desciende en la Latitud, las correlaciones disminuyen, tal como sucede en el Valle del Cauca, Nariño y Tolima. En la figura 4, se muestran los resultados de los análisis de correlación cruzada entre la NAO y las series de caudales de 10 ríos de Colombia, en donde se aprecia el valor del coeficiente de correlación entre la NAO en el trimestre anotado en el eje de las abscisas y los caudales de los trimestres denotados por las líneas y marcadores, como se anota en la figura 4.

Para los registros de precipitación se obtuvieron, en general, buenas correlaciones con la variable hidrológica a lo largo de todo el año, especialmente en JJA de la macroclimática la región del Caribe, y para el trimestre DEF, sobresaliendo los resultados para Antioquia y algunas estaciones del Chocó, Cundinamarca y norte del Santander; las correlaciones disminuyen al sur del país (Cauca y Valle del Cauca). Las correlaciones que se presentan con la NAO están asociadas a la intensidad de los vientos alisios del noreste que penetran desde el Océano Atlántico tropical Norte y del Mar Caribe, ya que el flanco ecuatorial de la Alta de las Azores en el Atlántico Norte determina fuertemente la intensidad de los alisios. El ciclo anual es importante, ya que los alisios también están sometidos a la oscilación anual, con mayor intensidad en DEF y menor intensidad en el trimestre JJA.

### 3. CONCLUSIONES

Hemos investigado la influencia de las fluctuaciones del ENSO y la NAO sobre la hidroclimatología de Colombia. El ciclo anual está presente de manera muy fuerte en tal relación. Los resultados del Proyecto de Reanálisis Climático de NCEP/NCAR han sido usados para examinar el comportamiento de diversos campos climáticos de la interacción atmósfera-suelo. En particular se ha examinado el ciclo anual de la climatología y de la diferencia entre las fases extremas de ENSO. Se concluye que MAM es el trimestre que menos efecto sufre por ambas fases del ENSO. Los trimestres JJA, SON y DEF son los mayormente impactados tanto por El Niño como por la fase fría (La Niña). El comportamiento de la corriente de chorro de bajo nivel de los alisios tropicales del oeste en Colombia es un factor determinante de las anomalías de precipitación, humedad de suelo y temperaturas en Colombia. Tal corriente se debilita durante El Niño y se intensifica durante La Niña, en particular en el trimestre SON. Las anomalías negativas de precipitación y humedad del suelo corroboran los resultados ampliamente mostrados por Poveda & Mesa (1996; 1997) sobre las anomalías de caudales de los ríos de Colombia durante las dos fases del ENSO, y otras conclusiones acerca del diagnóstico del clima de Suramérica tropical durante el El Niño, en particular aquellas relacionadas con la existencia de un “puente tierra-atmósfera” sobre la región, que transporta la señal oceánica de El Niño (calentamiento) hacia el Mar Caribe y el Océano Atlántico tropical Norte. Los resultados de las correlaciones estadísticas por trimestres muestran que los caudales y las lluvias del centro y el occidente de Colombia exhiben correlaciones simultáneas muy altas (alrededor de 0,7 a 0,8) durante el trimestre DEF. Para efectos de predicción, son muy importantes las correlaciones rezagadas entre el SOI en SON y la hidrología en DEF. En general, el trimestre SON de las variables hidrológicas es el de más baja correlación con casi todos los trimestres del SOI. El mayor grado de predicción

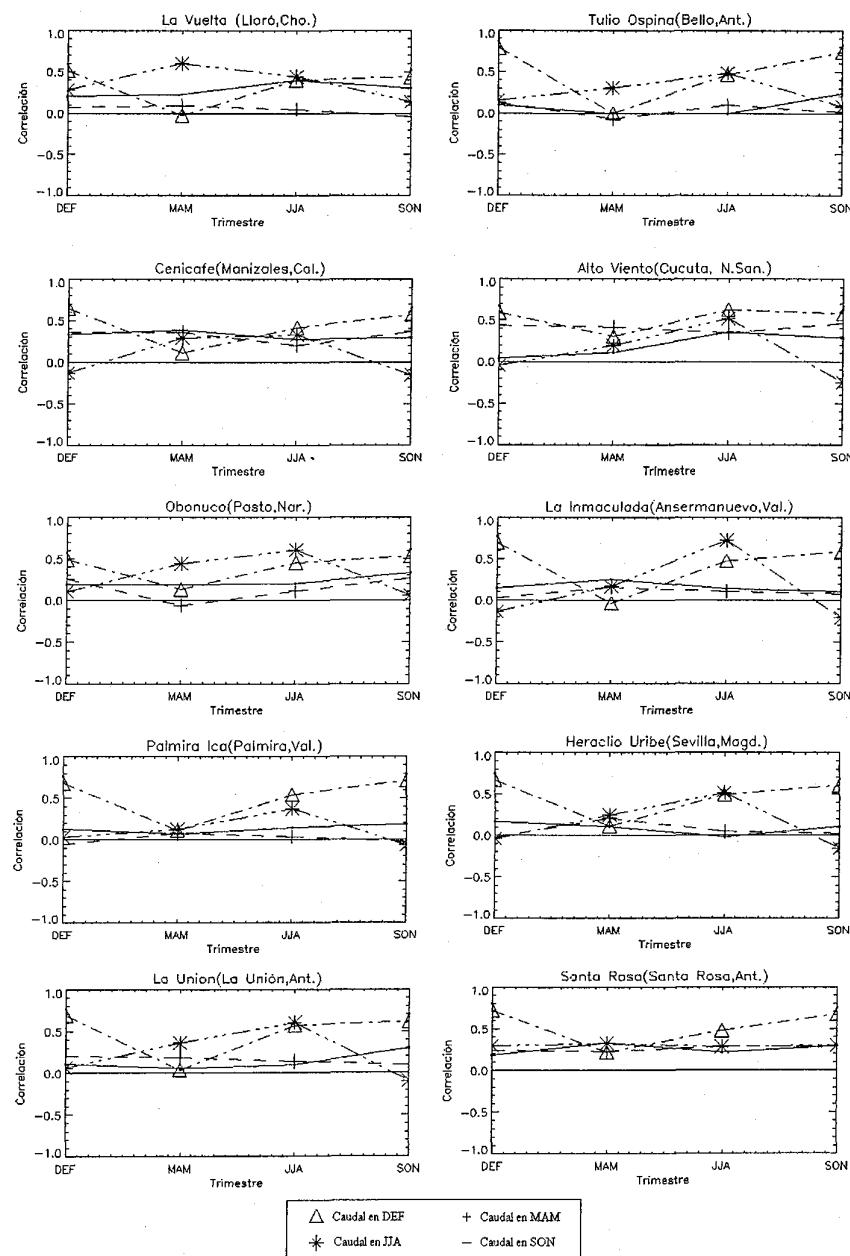


Fig. 4 - Coeficientes de correlación entre la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y 10 estaciones de medición de caudales en Colombia.

del SOI durante el trimestre MAM se presenta con la hidrología de JJA, así como también son altas las correlaciones entre el trimestre JJA del SOI y la hidrología de DEF, y muy bajas las correlaciones entre el trimestre MAM del SOI y la hidrología de DEF.

Las correlaciones de la NAO con la hidrología de Colombia también están influidas por el ciclo anual. Es así que las mayores correlaciones (negativas) se presentan para las estaciones de lluvias y caudales de la costa del Mar Caribe entre la NAO en los trimestres de MAM y JJA y la hidrología en DEF. Es necesario entender la modulación climática conjunta que ejercen el fenómeno ENSO y la NAO sobre el clima y la hidrología de Colombia.

Se continuará explorando la influencia de otras variables del clima global sobre la hidroclimatología de Colombia, como la Oscilación Cuasi-Bienal, las ondas de Madden-Julian, los sistemas de baja presión y huracanes en los Océanos Atlántico y Pacífico, las ondas del este, la oscilación anual de la ZCIT (Hastenrath, 1997), los monzones de la India, la circulación de la cuenca Amazónica y la retroalimentación de los procesos tierra-atmósfera en el continente.

### Referencias citadas

- ACEITUNO, P., 1988 - On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. *Mon. Wea. Rev.*, **116**: 505-524.
- HASTENRATH, S., 1976 - Variations in low-latitude circulations and extreme climatic events in the tropical Americas. *Jour. Atmos. Sci.*, **33**: 202-215.
- HASTENRATH, S., 1997 - Annual cycle of upper air circulation and convective activity over the tropical Americas. *J. Geophys. Res.*, **102**: D4, 4267-4274.
- HASTENRATH, S. & GREISCHAR, L., 1993 - Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, **6**: 743-758.
- KALNAY, E., KANATMISU, M., KISTLER, R., et al., 1996 - The NCEP/NCAR 40-year, Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**: 437-470; Washington.
- POVEDA, G., 1997 - Hydrologic Variability in Colombia and Tropical South America: ENSO, NAO, Diagnostics and Forecasting. *in: First Pacific Rim Hydroclimate Workshop*, Los Angeles: UCLA, agosto 25-27.
- POVEDA, G. & MESA, O. J., 1996 - La Oscilación del Atlántico Norte y su influencia sobre el clima de Colombia. *in: Memorias XVII Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, Vol. 2: 343-354; Guayaquil, Ecuador: IAHR.
- POVEDA, G. & MESA, O. J., 1997 - Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmosphere processes. *J. Climate*, **10**: 2690-2702.
- PULWARTY, R. S. & DIAZ, H. F., 1993 - A study of the seasonal cycle and its perturbation by ENSO in the tropical Americas. *in: IV Internat. Conf. South. Hem. Isph. Met. Ocean*: 262-263; American Meteorological Society.
- RASMUSSON, E.M. & MO, K., 1993 - Linkages between 200 mb tropical and extratropical circulation anomalies during the 1986-1989 ENSO cycle. *J. Climate*, **6**: 595-616.
- VELASCO, I. & FRISCH, M., 1987 - Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.*, **92**: D8, 9591-9613.
- VANMARCKE, E., 1988 - *Random Fields: Analysis and Synthesis*, 382p., MIT Press.