

EFFECTO DEL ENSO Y LA NAO SOBRE EL CICLO ANUAL DE LA HIDROLOGÍA DE COLOMBIA: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN, REANÁLISIS DE NCEP/NCAR Y MODELOS DE PRONÓSTICO.

**Marta María Gil, Natalia Quiceno y Germán Poveda
Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín**

RESUMEN

Se cuantifica el impacto del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) sobre el ciclo anual de la hidro-climatología de Colombia. Se usan los datos del Proyecto de Reanálisis Climático de NCEP/NCAR para identificar los mecanismos de la circulación atmosférica y de la interacción tierra-océano-atmósfera durante El Niño, que fundamentalmente son: (1) el debilitamiento de la corriente de chorro superficial del oeste que penetra desde el Océano Pacífico al interior de Colombia por los 5°N, descubierta en este trabajo; (2) el debilitamiento de la corriente de chorro ecuatorial de los 700 hPa; (3) la reducción de advección de humedad desde el Mar Caribe; (4) la reducción en número e intensidad de las ondas tropicales del este sobre el Atlántico tropical norte; (5) el desplazamiento de la ZCIT hacia el sur-oeste de su posición normal, como consecuencia del establecimiento de una celda de Hadley anómala sobre el trópico de las Américas; y (6) retroalimentación entre procesos tierra-atmósfera. Los análisis de correlación a nivel trimestral confirman la fuerte influencia del ENSO sobre las anomalías de lluvias y caudales de Colombia, en particular durante Septiembre-Octubre-Noviembre y Diciembre-Enero-Febrero. Se desarrollan modelos de regresión lineal múltiple para la predicción de caudales trimestrales, involucrando la influencia del ENSO, de la Oscilación del Atlántico Norte y otros fenómenos de gran escala, así como la persistencia hidrológica.

ABSTRACT

The impact of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon on the annual cycle of Colombia's hydro-climatology is quantified. Results of the NCEP/NCAR Climatic Reanalysis Project are used to compare the annual cycle of diverse variables and to evaluate their behavior during the extreme phases of ENSO. The main circulation mechanisms interacting to reduce rainfall during El Niño are: (1) the weakening of the low-level westerly jet that penetrates from the Pacific Ocean inland Colombia at 5°N, discovered in this work; (2) the reduction of the 700 hPa equatorial easterly jet; (3) the reduction of moisture advection from the Caribbean Sea; (4) the reduction in number and intensity of easterly waves along the tropical north Atlantic; (5) the displacement of the ITCZ to the south-west of its normal position, due to an anomalous Hadley cell over tropical South America, and (6) land-atmosphere feedbacks. Correlation analyses confirm the strong influence of ENSO on rainfall and river discharges anomalies of Colombia, in particular during SON and DJF. Multiple linear regression analysis are used to predict seasonal river discharges, including the influence of ENSO, the influence of the North Atlantic Oscillation, and other large scale phenomena, as well as the hydrological persistence, with promising results

1. INTRODUCCIÓN

Hay buena coherencia entre las anomalías hidrológicas en el trópico de Sur América (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 y 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 Sur América (Rasmusson y 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 y 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 sur-oeste de su posición normal (Pulwarty y 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 y Mesa, 1997).

En la sección 2 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 3 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. Este trabajo resume algunos de los resultados presentados por Gil y Quiceno (1997)

2. REANÁLISIS CLIMÁTICO DE NCEP/NCAR

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.

2.1. Velocidad del viento zonal a 925 hPa.

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. Ver Figura 1 de *Poveda y Mesa* (1998).

2.2. Componente zonal del viento a la longitud 77°O.

En la climatología de los vientos zonales 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, descubierta en el trabajo de *Poveda* (1998), se ha denominado “el Chorro del CHOCÓ” (*Poveda*, 1998), y está también asociada a la formación de complejos convectivos de mesoescala que penetran desde el Océano Pacífico hacia el interior de Colombia (*Velasco y 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. Ver Figura 2 de *Poveda y Mesa* (1998).

2.3. Precipitación total (Figura 1).

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.

2.4. Contenido de humedad en los primeros 10 cm del suelo (Figura 2).

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 Sur América 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. La variabilidad interanual de los caudales de los ríos está fuertemente asociada con la variabilidad en la humedad del suelo, dados los mecanismos que controlan su variabilidad espacio-temporal y la memoria hidrológica de la cuenca.

3. 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.

3.1. 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 del 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 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.

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.

3.2. Correlaciones con la NAO.

El trabajo de *Poveda y 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) 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 al pie de la Figura.

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.

4. MODELOS DE PREDICCIÓN DE CAUDALES DE RÍOS

Se han desarrollado modelos de regresión lineal múltiple por pasos ("stepwise") para la predicción de caudales trimestrales. Como variables independientes se han usado Q: Caudal de trimestres anteriores (m³/s), SOI: Índice de Oscilación del Sur, NAO: Oscilación del Atlántico Norte, SST-4: Temperaturas superficiales del mar en la región Niño 4 en C; SST-3: Temperaturas superficiales del mar en la región Niño 3 en C; SST-12: Temperaturas superficiales del mar en la región Niño 1 y Niño 2 en C; UW-4: Velocidad del viento zonal en la región Niño 4 en m/s; UW-3: velocidad del viento zonal en la región Niño 3 en m/s; UW-12: Temperaturas superficiales del mar en la región Niño 1+2 en C; AZORES: Presión superficial en las islas Azores, expresadas en decenas de hPa, y RN: Niveles en el río Negro en Manaus, Brasil (m), para involucrar de manera aproximada la influencia del clima del Amazonas sobre el clima de Colombia.

Usando los resultados obtenidos con los análisis de correlación, se usan como regresores aquellas variables macroclimáticas y aquellos caudales del mismo río (de trimestres anteriores) que mayor correlación presentan con los caudales de los ríos en el trimestre por predecir. Para ilustrar los resultados, las ecuaciones de predicción para

los caudales trimestrales del río Guadalupe en Troneras (Antioquia) fueron estimadas con un período de entrenamiento entre 1938-1978 y fueron validadas para el período 1979-1990. Las ecuaciones de predicción trimestral encontradas son:

$$Q_{DEF} = 25.505 + 0.416 Q_{SON} - 0.875 \text{ SST-3}_{JJA}, \quad (r = 0.7327),$$

$$Q_{MAM} = 53.068 + 0.405 Q_{DEF} - 1.658 \text{ SST-3}_{SON} - 1.798 \text{ SOI}_{DEF}, \quad (r = 0.5822),$$

$$Q_{JJA} = -2.5589 - 0.8483 \text{ SST-3}_{MAM} + 2.05887 \text{ RN}_{MAM}, \quad (r = 0.4207),$$

$$Q_{SON} = 27.787 - 0.269 Q_{JJA} - 1.42 \text{ SST-3}_{MAM} + 0.09 \text{ SOI}_{MAM} + 1.671 \text{ RN}_{JJA}, \quad (r = 0.3707),$$

El coeficiente de correlación estimado entre los valores históricos y los pronosticados es de 0.82, estadísticamente significativo al nivel de 99% (Figura 5). Estas predicciones fueron comparadas con aquellas hechas a través de modelos autorregresivos (AR, ARMA, que incluyen sólo la persistencia hidrológica), y los resultados presentan mucho menor error de predicción cuando se usa la información macroclimática estacional dentro de los regresores.

Para el río Magdalena en Puerto Berrío (Antioquia), el período de entrenamiento fue 1936-1976 y el período de validación fue 1977-1990. Las ecuaciones de regresión resultantes fueron:

$$Q_{DEF} = 8658.25 - 0.454 Q_{SON} - 288.01 \text{ SST-4}_{JJA}$$

$$Q_{MAM} = 2328.66 - 0.019 Q_{DEF} - 164.22 \text{ UW-4}_{JJA} - 53.87 \text{ SST-4}_{DEF}$$

$$Q_{JJA} = 4005.38 - 8.81 UW-4_{DEF} - 0.056 Q_{MAM} - 89.99 SST-4_{MAM}$$

$$Q_{SON} = 1628.00 - 55.47 UW-4_{JJA} * 0.275 Q_{JJA} - 13.587 SST-4_{JJA}$$

Todas las ecuaciones de predicción de caudales trimestrales incluyen la persistencia hidrológica y las variables macro-climáticas como regresores. En este caso también estas ecuaciones producen mejores predicciones que las que se obtienen usando modelos tradicionales de tipo autorregresivo de promedio móvil (ARMA).

5. CONCLUSIONES

Se ha 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

ampliamente los resultados mostrados por *Poveda y 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 Sur América tropical durante 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 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. El lector interesado en los resultados para múltiples registros hidrológicos de Colombia puede consultar el trabajo de *Gil y Quiceno* (1997). 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

1. **ACEITUNO, P.** On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector, Part I. En: *Surface Climate, Mon. Wea. Rev* 116, 1988. p. 505-524.
2. **GIL, M.M., QUICENO, N.** Influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur en el ciclo anual del clima de Colombia, Trabajo dirigido de Grado: Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, 1997.
3. **HASTENRATH, S.** Variations in low-latitude circulations and extreme climatic events in the tropical Americas. En: *Atmos, Sci.*, No. 33, 1976. p. 202-215.
4. **HASTENRATH, S.** Annual cycle of upper air circulation and convective activity over the tropical Americas. En: *J. Geophys. Res.*, 102, D4, 1997. p. 4267-4274.
5. **HASTENRATH, S., GREISCHAR, L.** Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. En: *J. Climate*, No. 6, 1993. p. 743-758.
6. **KALNAY, E., M...[et al.].** The NCEP/NCAR 40-year, Reanalysis Project. En: *Bulletin of the American Meteorological Society*. Washington, No. 77, 1996. p. 437-470.
7. **POVEDA, G.** Hydrologic Variability in Colombia and Tropical South America: ENSO, NAO, Diagnostics and Forecasting. First Pacific Rim Hydroclimate Workshop, UCLA, Los Angeles, Agosto 25-27, 1997.
8. **POVEDA, G., MESA, O.J.** La Oscilación del Atlántico Norte y su influencia sobre el clima de Colombia. En: *Memorias XVII Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Guayaquil, Ecuador, 1996. p. 343-354.
9. **POVEDA, G., MESA O.J.** Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmosphere processes. En: *J. Climate*, n 10, 1997. p . 2690-2702.
10. **POVEDA, G., MESA O. J.** Climatología de tres Corrientes de Chorro en Colombia. En: *Memorias XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Cali, 1998.
11. **PULWARTY, R.S., DIAZ, H.F.** A study of the seasonal cycle and its perturbation by ENSO in the tropical Americas. En: *IV Internatl. Conf. South Hemisph, Met. Ocean*, American Meteorological Society, 1993. p . 262-263.
12. **VELASCO, I., FRISCH M.** Mesoscale convective complexes in the Americas. En: *J. Geophys. Res.*, No. 92, D8, 1987. p. 9591-9613.

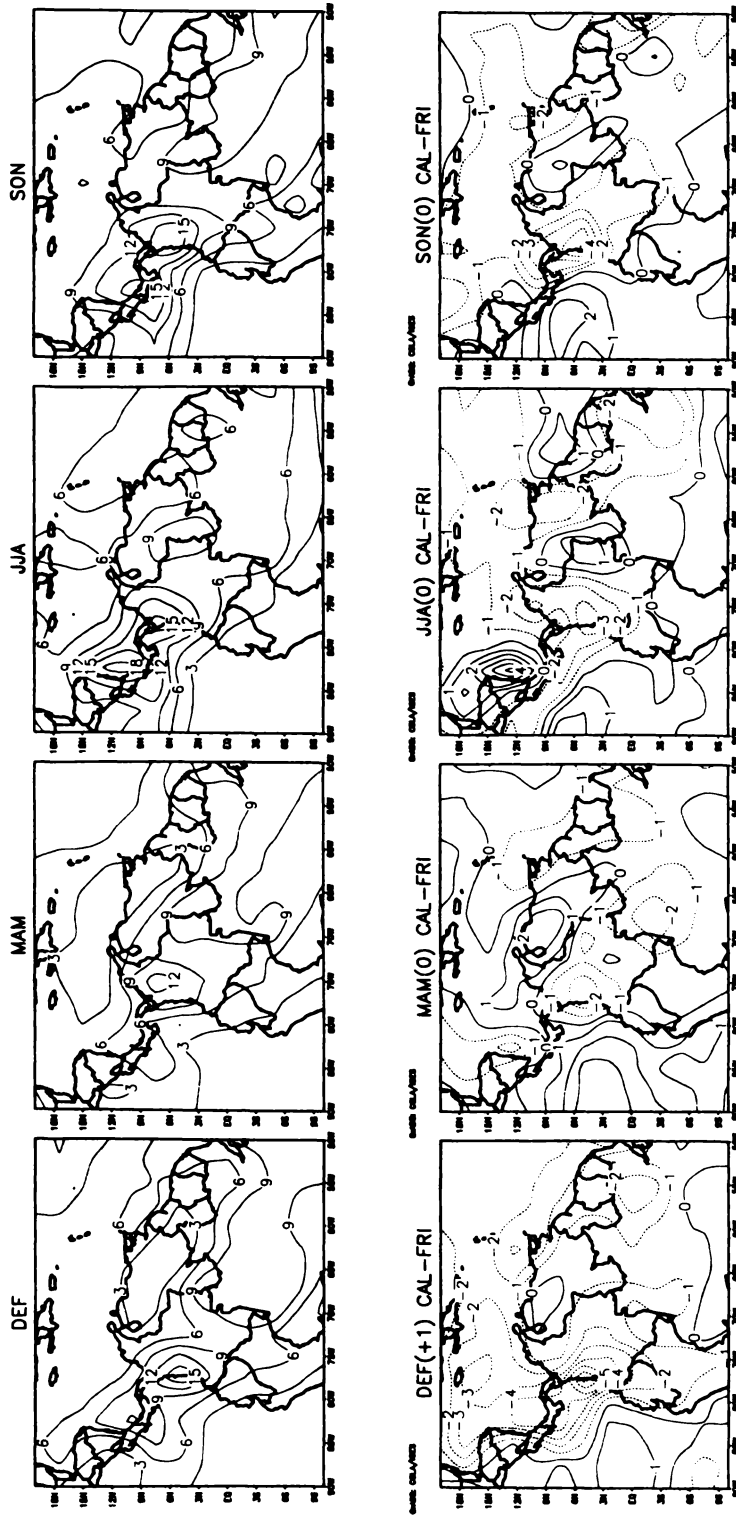


Figura 1. Ciclo anual de Precipitación [mm/d] (superior)
Diferencia entre eventos calidos y frios (inferior).

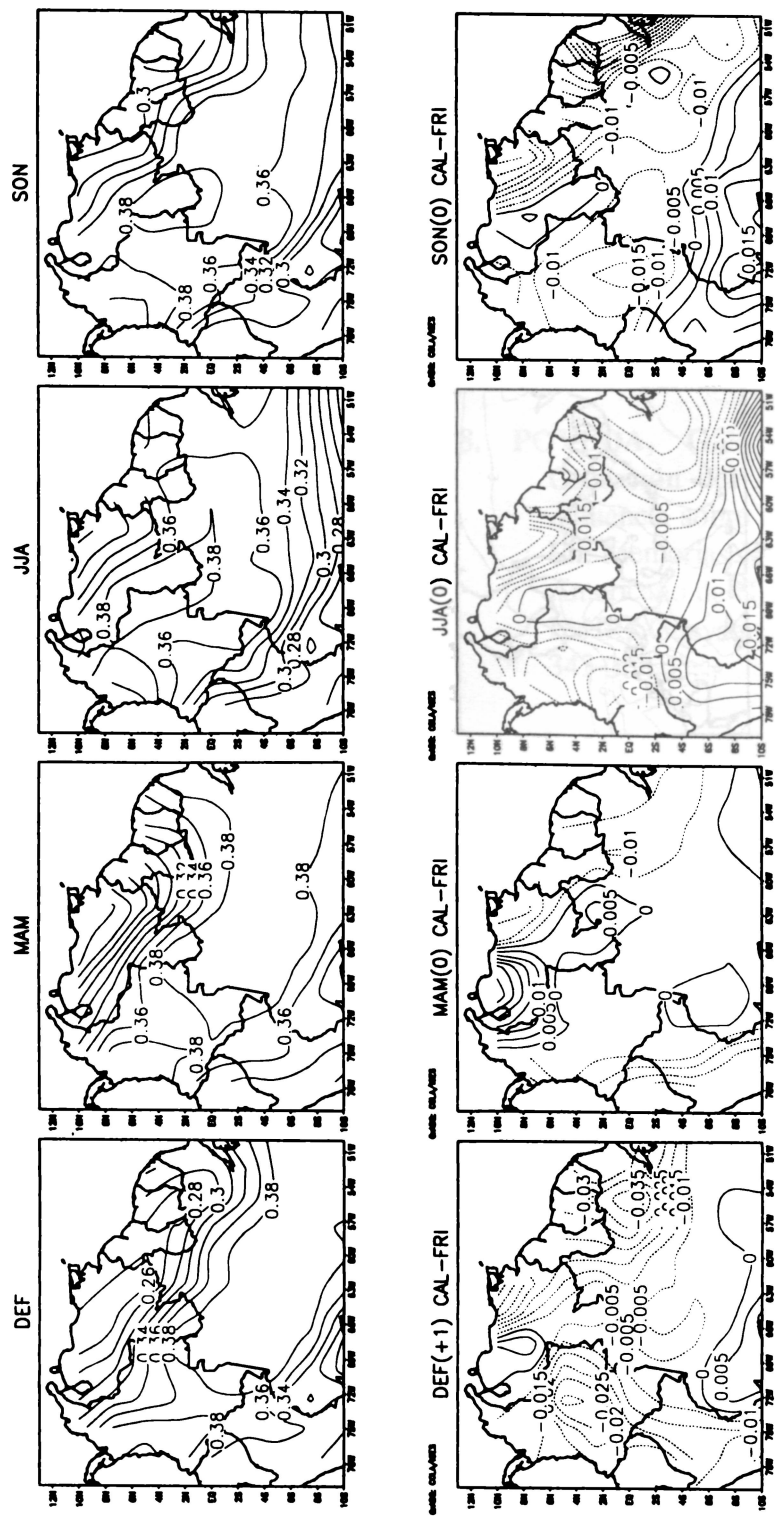


Figura 2. Ciclo Anual Humedad de Suelo 0-10 cm [fraccion] (superior)
 Diferencia entre eventos calidos y frios O. Pacifico (inferior).

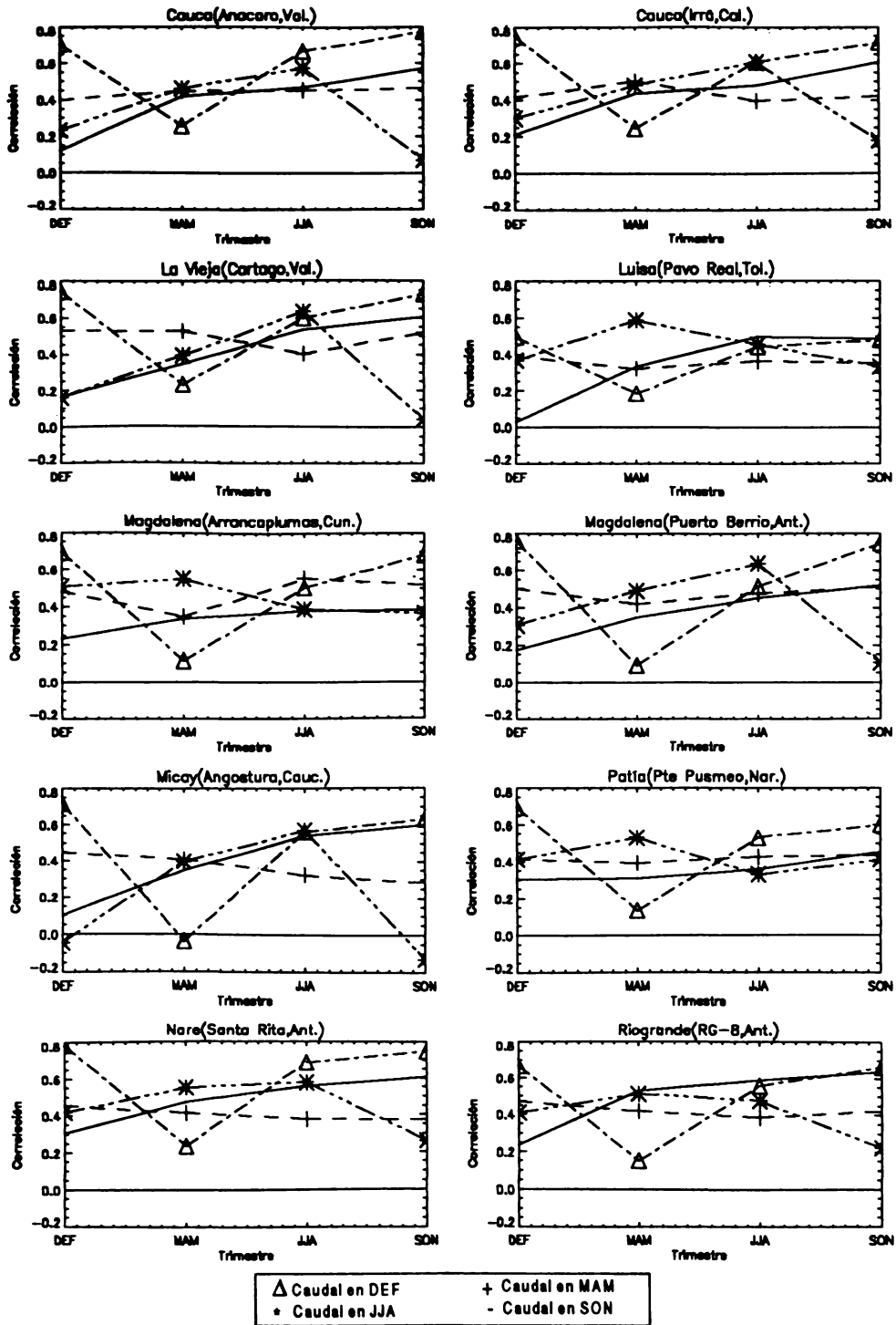


Figura 3. Coeficientes de correlación entre el Índice de Oscilación del Sur (SOI) y 10 estaciones de medición de caudales en Colombia

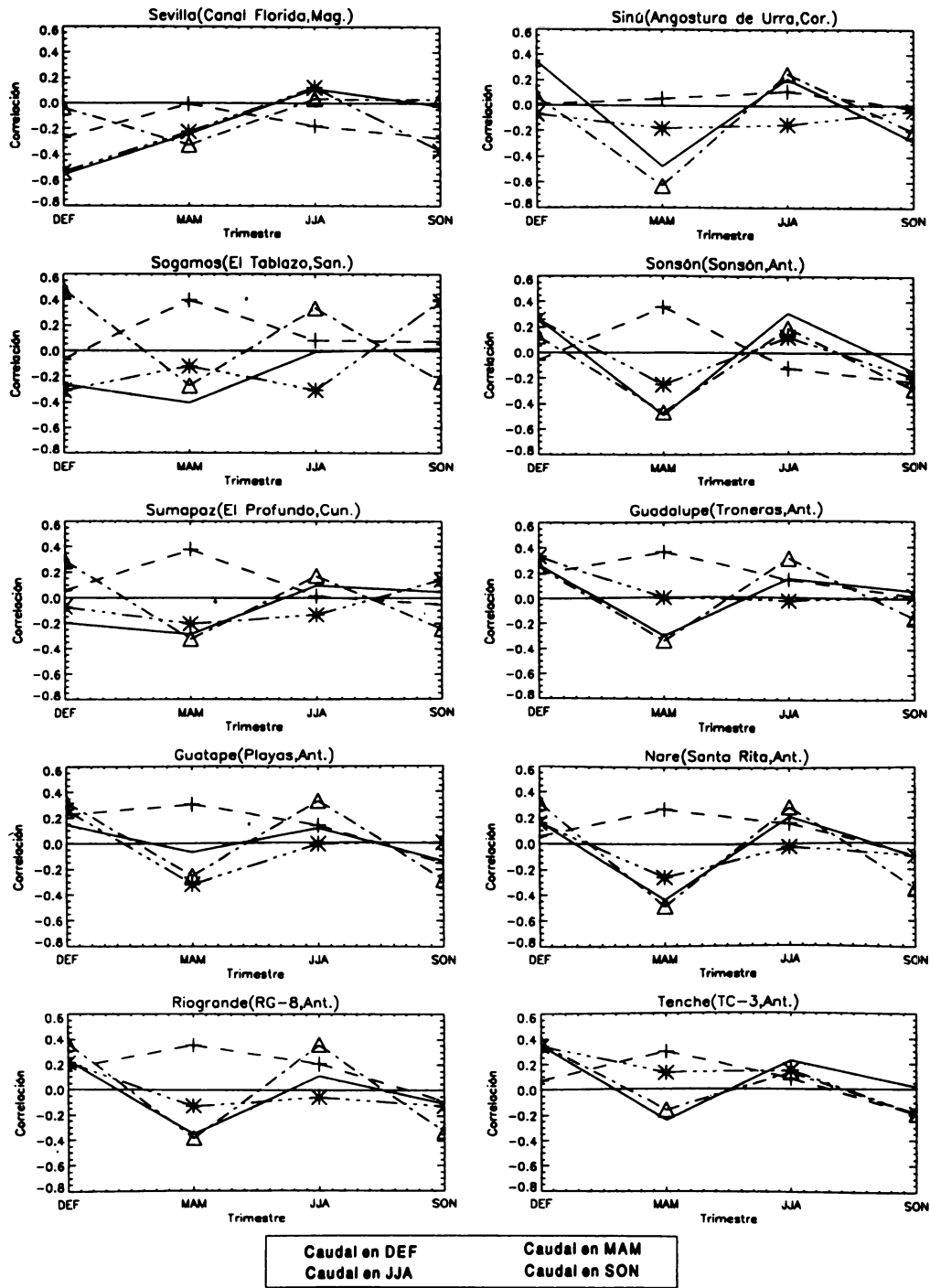


Figura 4. Coeficientes de correlación entre la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y 10 estaciones medición de caudales en Colombia

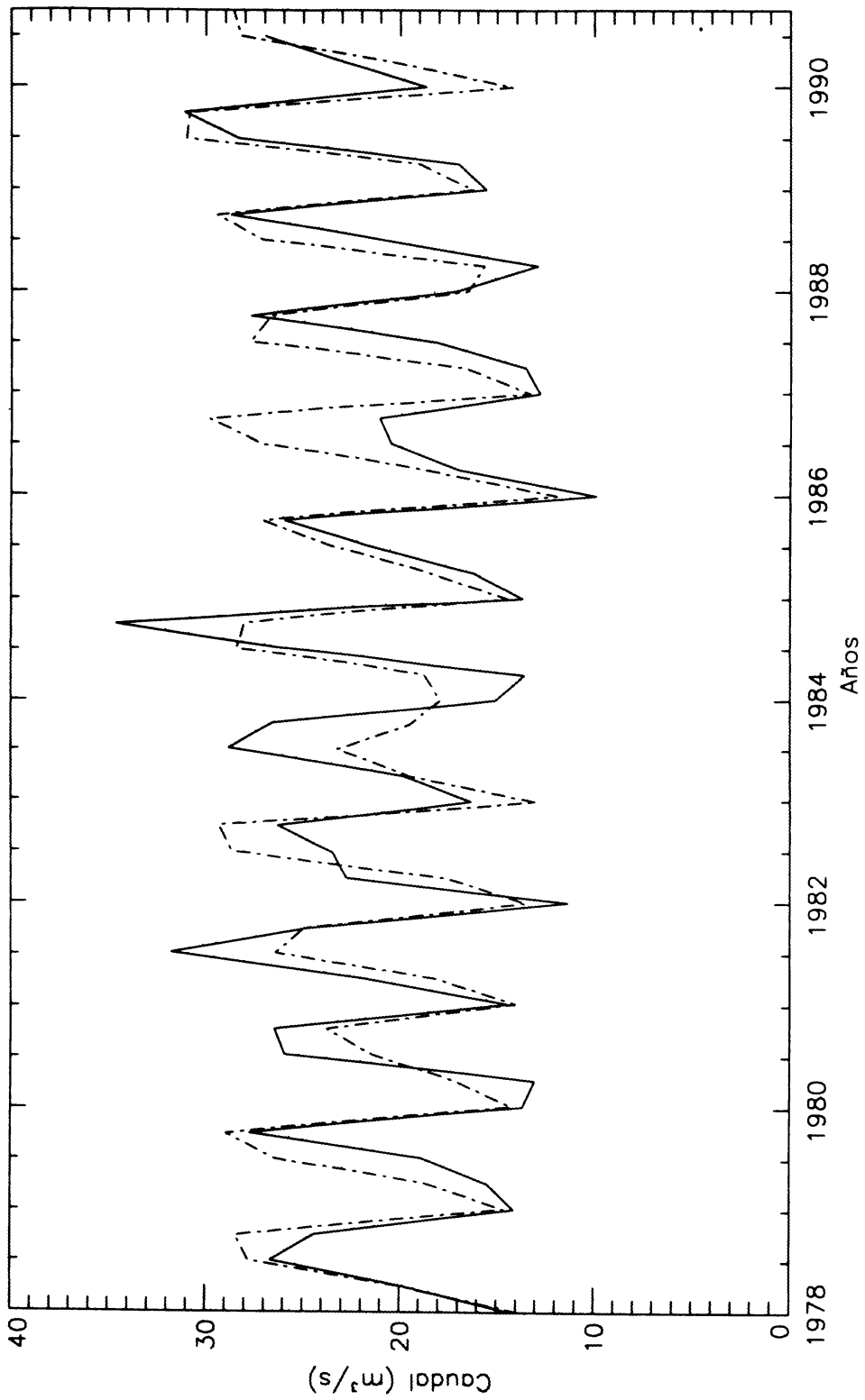


Figura 5 Evolución Temporal del caudal observado (línea continua) y el estimado por regresión múltiple (línea punteada) en el río Guadalupe (Antioquia, Colombia).

