

Incidencia de El Niño-Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia, utilizando el *Climate Explorer*

Olga Lucía Puertas Orozco¹, Yesid Carvajal Escobar²
Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia

Resumen

El conocimiento de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) aún es parcial; las variaciones del clima colombiano y de eventos ENOS dificultan su entendimiento y la predicción de sus impactos. Esta investigación utilizó el Climate Explorer para establecer relaciones lineales entre la precipitación y la temperatura media del aire (anual y trimestral) de Colombia con variables asociadas a ENOS, entre 1975-2000. Se concluye que al centro, norte y occidente del país, El Niño (fase cálida) trae disminución de lluvias e incrementa la temperatura, lo contrario sucede durante La Niña. Mayores correlaciones significativas se obtuvieron con períodos trimestrales (principalmente en DEF) y rezagos alrededor de cero; éstas decaen en el trimestre MAM de las variables climatológicas; entre la precipitación y el índice IMENSO se obtuvieron mayores coeficientes en DEF ($r=-0.44$). Existe mayor incidencia de ENOS sobre la temperatura del país.

Palabras clave: Variabilidad climática, ENOS, Climate Explorer

Abstract

The knowledge of the phenomenon El Niño Southern Oscillation (ENSO) still is partial, the variations in the Colombian climate and the ENSO events make difficult its understanding and the prediction of its impacts. This research used the Climate Explorer, to establish linear relations between the precipitation and the average temperature of the air (annual and quarterly) with associated variables to ENSO, between 1975 and 2000. It is concluded that in the center, north and west of the country, El Niño (warm phase) brings rain diminution and increases the temperature, the opposite happens during La Niña. Greater significant correlations

Fecha de recepción: 21 de enero de 2008
Fecha de aceptación: 25 de abril de 2008

¹ Ingeniero Agrícola. olgapuertas@gmail.com

² PhD. Hidráulica y Medio Ambiente. Profesor Asociado. Director de Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR y del grupo de Investigación IREHISA. Universidad del Valle. yecarvaj@univalle.edu.co

Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Desarrollo de Suelos-IREHISA. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente- EIDENAR.

Dirección: Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, AA.25360, Cali (Colombia)

obtained with quarterly periods (mainly in DJF) and lags around zero; which decay in trimester MAM of the climatological variables; between the precipitation and index IMENSO greater coefficients in DJF were obtained ($r=-0.44$). Greater incidence of ENSO exists on the temperature of the country.

Key words: Climate variability, ENSO, Climate Explorer

INTRODUCCIÓN

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es el conjunto más poderoso de variaciones atmosféricas y oceánicas en la región del océano Pacífico ecuatorial. Se manifiesta con variaciones anómalas de la presión atmosférica (Oscilación del Sur) y de la temperatura en la superficie del mar (El Niño - fase cálida o La Niña-fase fría) en el océano Pacífico [1]. En sus fases extremas provoca alteraciones en la circulación oceánica y atmosférica a escala global [2], en los cinturones tropicales y subtropicales de la tierra que favorecen e intensifican el desarrollo de precipitaciones torrenciales, lo cual produce crecidas, inundaciones, avalanchas, tormentas y ciclones tropicales, así como sequías, con efectos catastróficos en más de la mitad de la circunferencia terrestre[3].

En Colombia, ENOS causa alteraciones climáticas en la escala interanual sobre todo el territorio, lo cual afecta todo el medio natural en general y el ciclo hidrológico, en particular [4], [5] y [6]. Este fenómeno causa las principales variaciones en la precipitación originadas por cambios en el océano pacífico [7]. El Niño 1997-1998 ocasionó condiciones de sequía que dominaron en cerca del 90% del territorio colombiano, y numerosos ríos presentaron una disminución de los caudales en relación con los promedios mensuales multianuales con record históricos de los últimos 50 años [8]. Sin embargo, los impactos de un evento ENOS no son fáciles de predecir por diversas razones: los efectos climáticos dependen principalmente de la extensión, intensidad y duración de las anomalías en el océano y la atmósfera (las cuáles varían para cada evento de ENOS), también la influencia de estructuras sociales, económicas y políticas determinan si las anomalías climáticas traerán severos impactos socioeconómicos en una región particular [9].

Este artículo aborda el contexto del conocimiento parcial del ENOS en Colombia y tiene como objetivo el estudio de teleconexiones del fenómeno ENOS con la variabilidad climática en Colombia, mediante análisis de correlación cruzada entre la precipitación y la temperatura del aire con va-

riables de ENOS, en escalas anual y trimestral, utilizando principalmente el *software Climate Explorer* [10], [11], disponible en: <http://climexp.knmi.nl>; todo esto, a fin de facilitar futuros estudios que puedan ser incluidos en los procesos de planificación de los recursos naturales ante los riesgos climáticos en el país.

1. METODOLOGÍA

1.1. Descripción del área de estudio

Colombia, al localizarse en la zona ecuatorial, por su orografía y la cercanía a los océanos, entre otros factores, presenta gran variedad de condiciones climáticas, culturales, de suelos, de distribución de agua, de biodiversidad y de distribución poblacional y económica [12].

Particularmente, la precipitación intranual presenta dos regímenes característicos: el bimodal en la zona andina, cuyos trimestres diciembre-enero-febrero (DEF) y junio-julio-agosto (JJA) son de baja pluviosidad, contrario ocurre en marzo-abril-mayo (MAM) y septiembre-octubre-noviembre (SON), que son de mayor pluviosidad. Los regímenes monomodal se distribuyen principalmente en la parte oriental de Colombia [13]; la precipitación mensual promedio en el país, según el estudio realizado, es de 149.1mm.

El régimen de la temperatura del aire en el país está determinado por su situación geográfica en el mundo y las particularidades fisiográficas del territorio; en la región andina se presentan pisos térmicos y en promedio por cada 100 msnm. disminuye la temperatura 0.625 °C. En el resto del territorio se presentan temperaturas promedio entre 24oC y 30oC [12].

1.2. Estudios preliminares de la información climatológica

El período de estudio fue 1975-2000 con 155 estaciones de medición de precipitación y con 44 de temperatura, determinado según la aparición espacial y temporal de la red climatológica del *software Climate Explorer*. Posteriormente, se conformaron las bases de datos climáticas a escala temporal mensual-multianual: (i) se efectuó la identificación de datos faltantes, para esto se tuvo como parámetro un porcentaje de datos faltantes menor al 10% del total de datos por estación climática; como resultado correspondieron al 3% del total de los datos. (ii) se realizó el cálculo de datos faltantes, utilizando el método de sustitución por la media mensual de la serie, y se presentó la media como el mejor valor de sustitución [14].

(iii) La identificación de casos atípicos se realizó con análisis *cluster*, que es un método multivariado el cual reduce información en grupos o *clusters* donde los miembros del mismo poseen características similares [15] y los clasifica con respecto a algún criterio de selección predeterminado [16]. La técnica de agrupamiento utilizada fue de conglomerados jerárquicos (o forma de árbol) y como medida de similitud (o distancia entre los conglomerados) se utilizó la distancia euclídea al cuadrado; de esta manera, la estación que se agrupara sola se la identificó con comportamiento atípico respecto a sus estaciones vecinas. El número de estaciones atípicas fueron 7 y 4 para las series de precipitación y temperatura respectivamente. A continuación, se realizó el análisis exploratorio univariado a estas series identificadas, con la aplicación de técnicas gráficas y numéricas, para verificar la consistencia y homogeneidad (estabilidad en la media y la varianza) de los datos [14]. A partir de esto, según lo muestra el Cuadro 1, se confirmó el descarte de 7 estaciones (de un total de 11 estaciones) que fueron identificadas como atípicas mediante el análisis *cluster*.

Cuadro 1. Resultados AED a estaciones atípicas según análisis *cluster**

Serie de estudio	Estación	Análisis gráfico	Análisis cuantitativo	Resultado AED
Precipitación	Iurete	R	R	R
	San Gabriel	R	A	A
	Boyacá	R	R	R
	Carano	R	R	R
	Andina	R	R	R
	Iquitos	R	R	R
	Caracolí	R	A	A
Temperatura	Catamayo	A	R	R
	Iquitos	A	R	R
	Maracay	R	A	A
	San Fernando	R	A	A

* A: Aprueba R: Rechaza

Según el análisis *cluster*, la técnica encuentra similitudes de manera aleatoria entre toda la serie de datos de las estaciones de estudio, lo que ratifica la robustez del estudio; además, facilitó la detección de casos atípicos en bases de datos con un número significativo de estaciones. Sin embargo,

es importante estudiar las técnicas de exploración para las condiciones específicas de los datos, así mismo analizar los componentes de la técnica *cluster* como son el tipo de agrupación y la medida de distancia, a fin de conocer las causas que se le atribuyen a descartar estaciones que el análisis exploratorio univariado aprueba; para este caso fueron 4 estaciones.

Las variables macroclimáticas de ENOS utilizadas en este estudio fueron: (i) la Temperatura en el Superficie del Mar (TSM), definida como la anomalía mensual de esta variable en cuatro sectores del océano Pacífico alrededor de la línea ecuatorial, denominadas en orden de este a oeste: NIÑO 4, NIÑO 34, NIÑO 3, NIÑO 12; un índice de TSM alto (positivo) indica la ocurrencia de El Niño (fase cálida); (ii) el Índice de Oscilación del Sur (IOS), que se define como la diferencia de las anomalías mensuales de presión atmosférica estandarizadas entre un centro de alta presión en Tahití (17 oS, 150oO) y un centro de baja presión cerca de Darwin (12o S, 131o E); la fase cálida de ENOS está asociada a un IOS bajo o negativo [17] y (iii) el Índice Multivariado de ENOS (IMENSO), el cual relaciona las principales variables en el océano Pacífico: presión a nivel del mar, componentes zonal y meridional de los vientos de superficie, temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire en la superficie y nubosidad; valores positivos del IMENSO se relacionan con El Niño [18].

1.3. Correlación entre variables climáticas y asociadas a ENOS

El análisis de correlación cruzada es usado para medir el grado de asociación lineal entre dos variables y se refiere al grado de variación conjunta que existe entre las variables relacionadas [19]. Se estimaron coeficientes de correlación de Pearson (r) por ser el más utilizado para estudiar el grado de relación lineal que existe entre dos variables cuantitativas [20], relacionando la precipitación y la temperatura media del aire en Colombia con variables macroclimáticas asociadas a ENOS: el IOS y la TSM en las regiones NIÑO 12, NIÑO 3, NIÑO 34 y NIÑO 4. Las escalas temporales multianuales estudiadas fueron: anual acumulada, anomalías anuales y trimestral conforme al régimen climático del país (DEF, MAM, JJA y SON), para el período de estudio entre los años 1975 y 2000.

El valor de probabilidad o significancia de los resultados se determinó con la probabilidad (p) de obtener un valor para el estadístico tan extremo como el realmente observado si la hipótesis nula fuera cierta [19]. Para el caso de correlación cruzada, se rechazó la hipótesis nula de independencia lineal (o sea, sobre la hipótesis de que el coeficiente de correlación vale cero en la población) y se determinó que existe relación lineal significativa,

cuando el nivel crítico p fue menor que el nivel de significancia establecido en 5% [21].

Buscando encontrar mayores coeficientes de correlación y mejorar la distribución espacial de las estaciones climáticas, la precipitación también se correlacionó con el IMENSO: los datos del IMENSO provinieron del Departamento Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés), disponible en: <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/> en las escalas anual e intranual; y de la precipitación se utilizó la base de datos homogénea del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, según estudios preliminares [22], la cuál cuenta con 483 estaciones climáticas con registros entre los años 1975 y 2000.

Sin embargo, el área de cobertura de las estaciones pluviométricas del IDEAM fue similar a la base de datos del *Climate Explorer*; las estaciones se ubican principalmente sobre la región andina, correspondiente al 35% del territorio nacional; esta distribución puede justificarse por ser la región donde suceden las mayores actividades de desarrollo socioeconómico del país (85% del PIB) y se ubica el 70% de la población [23].

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS: ENOS Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE COLOMBIA

En general, los resultados de correlaciones entre las variables macroclimáticas asociadas a ENOS con la precipitación y la temperatura del aire en Colombia, coinciden con estudios preliminares desarrollados en el país [24], [25], [26], [27], [28], [29] y [30].

La Figura 1 muestra la distribución espacial de los coeficientes de correlación de Pearson entre la precipitación y la temperatura media del aire (anuales) en Colombia con la variable NIÑO 4, donde se obtuvieron las mayores correlaciones con la TSM. Se evidencia la incidencia del fenómeno ENOS sobre la variabilidad del clima colombiano, de manera que la fase cálida (El Niño – Incremento de la TSM) disminuye la precipitación (relación inversa: coeficiente r negativo) y consecuentemente el incremento de la temperatura del aire (relación proporcional: coeficiente r positivo) en el país, con anomalías contrarias durante La Niña (fase fría).

Aunque la distribución de las estaciones climatológicas está principalmente en la región andina, se observa que los efectos de ENOS sobre la precipitación son más fuertes al centro y al occidente que en el oriente del

país. También, para efectos de predicción, los rezagos cercanos a 0 meses presentaron mejores correlaciones.

Adicionalmente, se observaron (ver Figura 1) correlaciones opuestas hacia el oriente del país, aunque esta zona cuenta con baja presencia de estaciones climatológicas. Este comportamiento puede estar justificado por la migración hacia el sur-oeste de la ZCIT de su posición normal, según sucede durante la fase cálida de ENOS (El Niño); de esta manera ocurren anomalías contrarias sobre esta región con el incremento de la precipitación en países vecinos como Ecuador, Perú y Brasil, según lo registran otros estudios en Colombia [26].

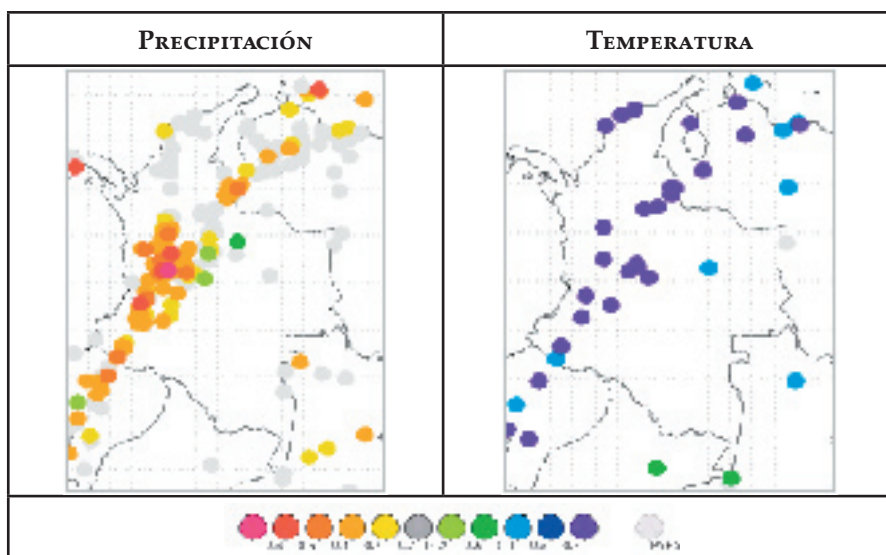


Figura 1. Correlaciones entre variables climáticas (anual acumulada) en Colombia NIÑO 4 (Rezago de 2 meses) entre los años 1.975 y 2.000
 Fuente: *Climate Explorer*: <http://www.climexp.knmi.nl/>

Variaciones entre los coeficientes de correlación encontrados también están justificadas por la distribución espacial de las estaciones y los microclimas típicos del territorio colombiano, con predominancia de factores determinantes como son las características fisiográficas de la región, como el relieve [12].

2.1. ENOS y la precipitación

Fenómenos climáticos de gran escala afectan la disponibilidad (por déficit o excedencia) y la calidad del recurso hídrico en el país [25], [31] y [32]. En particular, el fenómeno ENOS tiene fuerte incidencia sobre la hidrología de Colombia, la fase cálida de ENOS se asocia con disminución de las lluvias y el caudal de los ríos en el centro, occidente y norte del país, lo cual ocasiona sequías, incendios forestales, racionamientos energéticos, disminución en la producción, agrícola, pesquera y pecuaria [33]. Durante La Niña ocurren anomalías contrarias, con eventos de precipitación muy intensos, crecidas de ríos, avalanchas e inundaciones de planicies [26] con las consecuentes repercusiones sobre los recursos hídricos y la sociedad.

Las correlaciones obtenidas con la precipitación del país muestran relaciones inversas con la TSM y el IMENSO, y proporcional con el IOS; así mismo, coinciden con los efectos descritos anteriormente. Con la TSM se presentaron mayores coeficientes significativos, principalmente con las regiones NIÑO 4 y NIÑO 34, lo cual puede estar asociado a la intensidad del fenómeno ENOS dado que proporcionalmente las anomalías de la TSM alcanzan mayor extensión hacia el este (australiano) del océano Pacífico Tropical.

Según muestra el Cuadro 2, el promedio de los coeficientes encontrados, las mayores correlaciones se obtuvieron con la variable IMENSO, lo cual se atribuye al mayor número de variables de ENOS que ésta reúne. Las correlaciones fueron similares en significancia al utilizar la precipitación acumulada y las anomalías aunque mayores en el último caso.

Cuadro 2. Correlaciones lineales promedio entre la precipitación anual acumulada en Colombia y variables asociadas a ENOS (1975 – 2000)

Variables de ENOS	r^*	Rezago** (meses)
NIÑO 12	- 0.12	2
NIÑO 3	- 0.14	2
NIÑO 34	- 0.14	1
NIÑO 4	- 0.15	1
IOS	0.17	-1
IMENSO	-0.32	3

* r : Coeficiente de Correlación de Pearson (promedio)

** Rezago positivo: encabeza la variable de ENOS y viceversa.

La variabilidad intranual asociada al ENOS, en la escala trimestral (multianual), presentó incremento del 30% en promedio de los coeficientes de correlación en el trimestre DEF. El Cuadro 3 y la Figura 2 muestran que se obtuvieron correlaciones significativas en los trimestres DEF y JJA, con un descenso en los trimestres MAM y SON (hasta del 34% en las correlaciones significativas). En general, la precipitación trimestral (excepto en MAM) presentó mayores coeficientes de correlación, comparado con los obtenidos con la precipitación anual.

Cuadro 3. Correlaciones lineales promedio entre la precipitación trimestral en Colombia y variables asociadas a ENOS (1975 – 2000)

PRECIPITACIÓN	DEF		MAM		JJA			
	r^1	Rezago ² (meses)	r^1	Rezago ² (meses)	r^1	Rezago ² (meses)	r^1	Rezago ² (meses)
V. ENOS								
NIÑO 12	-0.22	0	-0.16	-4	-0.29	-2	-0.19	-2
NIÑO 3	-0.34	6	-0.10	-10	-0.32	1	-0.18	3
NIÑO 34	-0.33	5	-0.03	2	-0.28	1	-0.17	-1
NIÑO 4	-0.35	1	-0.10	3	-0.25	-2	-0.19	-2
IOS	0.23	2	0.14	-1	0.22	0	0.14	-2
IMENSO	0.44	0	-0.04	2	-0.33	0	-0.23	3

¹ r : Coeficiente de Correlación de Pearson (promedio)

² Rezago positivo: encabeza la variable de ENOS y viceversa.

Las correlaciones trimestrales de la precipitación con el IOS presentaron r promedio de 0.17; en DEF se obtuvieron las mayores correlaciones (r promedio= 0.26); el porcentaje de correlaciones significativas en MAM fue del 12% y en JJA incrementó al 50%. Con el IMENSO mejoraron el promedio de los coeficientes de correlación en un 51% durante el trimestre DEF; se presentaron correlaciones hasta de $r=-0.82$. Con este índice las correlaciones decaen en los trimestres JJA, SON y MAM (en este orden).

Según lo muestra la Figura 2, aunque la distribución de las estaciones es principalmente sobre el centro del país, las mayores correlaciones se concentraron hacia el occidente, principalmente sobre las regiones andina y pacífica colombianas.

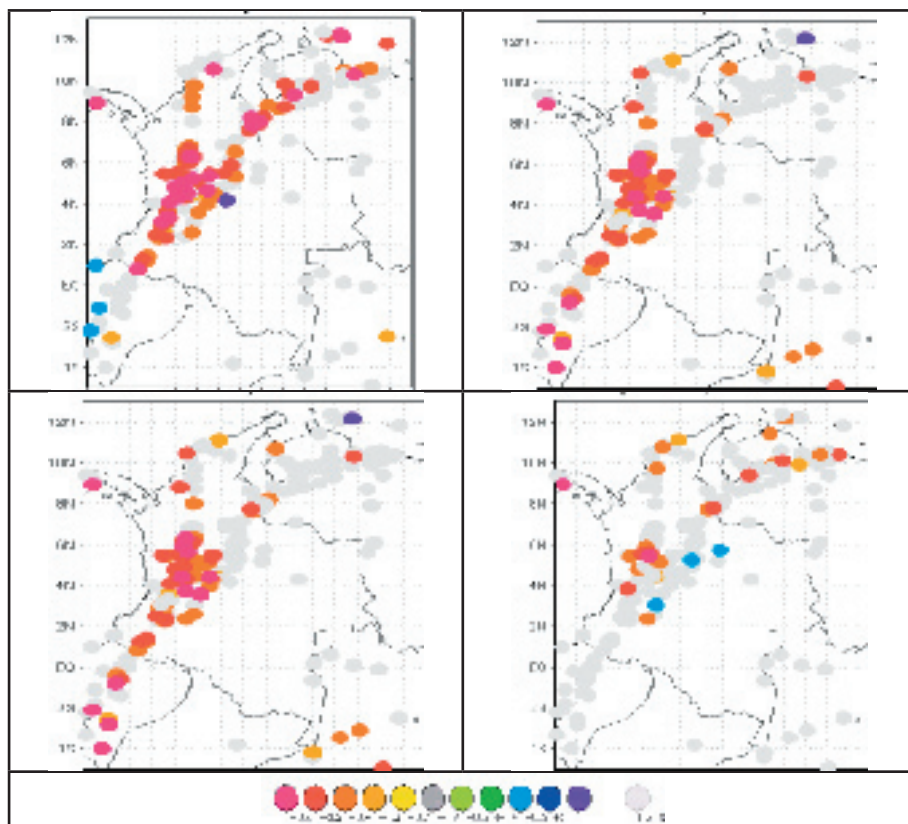


Figura 2. Correlaciones lineales de la precipitación trimestral en Colombia con la TSM en la región NIÑO 34 con 2 meses de rezago (1975-2000)

Adicionalmente, las variables TSM: NIÑO 3, NIÑO 34 y NIÑO 4 mostraron altos coeficientes de correlación comparados con las demás variables ENOS del estudio; los promedios de las correlaciones con esta variable se aproximaron a los del índice IMENSO que está conformado por seis variables macroclimáticas de monitoreo del fenómeno ENOS.

2.2. ENOS y la temperatura media del aire

En Colombia, durante El Niño, se presenta una disminución en la precipitación, y de manera consistente se registra un incremento en la temperatura media del aire [26]. En este estudio, la temperatura del aire presentó menor rango de variación en las correlaciones con la TSM y el IOS comparada con la precipitación, que representa mayor variabilidad (espacial y temporal), teniendo en cuenta que las variaciones de las correlaciones

en la temperatura están determinadas principalmente por características como la fisiográficas del país.

Los coeficientes de correlación de Pearson entre la temperatura del aire anual y la TSM en Colombia, presentaron rangos similares en todo el territorio y mayores correlaciones se obtuvieron con la variable NIÑO 4 (promedio de 0.48 y el 93% de correlaciones significativas) en rezagos positivos entre 2 y 3 meses (encabezando la TSM). Las correlaciones con la variable NIÑO 12 presentaron un promedio de 0.30, siendo el más bajo de las correlaciones obtenidas, según lo muestra el Cuadro 4. Con el IOS se obtuvieron principales correlaciones significativas a 0 y 3 meses de rezago para la temperatura promedio y las anomalías anuales (encabeza el IOS).

Cuadro 4. Correlaciones lineales promedio entre la temperatura media del aire anual en Colombia y variables asociadas a ENOS (1975 – 2000)

Variable de ENOS	r *	Rezago** (meses)
NIÑO 12	0.30	2
NIÑO 3	0.36	2
NIÑO 34	0.37	3
NIÑO 4	0.48	2
IOS	-0.39	0

*r : Coeficiente de Correlación de Pearson (promedio)

** Rezago positivo: encabeza la variable de ENOS

La temperatura trimestral obtuvo mayores correlaciones con la TSM en las regiones NIÑO 34 y NIÑO 4. Como lo muestra la Figura 3, se observan mayores coeficientes y significancia estadística de las correlaciones con la temperatura del aire durante el trimestre DEF y de manera decreciente en MAM, SON y JJA respectivamente. Las mayores correlaciones trimestrales se obtuvieron con la variable NIÑO 34 en el trimestre DEF con un promedio de $r=0.59$ y el 86% de correlaciones significativas; en este trimestre con el IOS el r promedio fue -0.56 y el 84% de correlaciones significativas. Con la variable NIÑO 34 se obtuvieron las menores correlaciones en el trimestre SON con r promedio = 0.44 . En el trimestre JJA las correlaciones disminuyeron hasta -0.29 con el IOS y el porcentaje de correlaciones significativas decrecieron al 53%. Se determinó que las correlaciones de la temperatura media del aire mejoran al considerar la variabilidad intranual de la misma. La distribución espacial de los coeficientes no muestra alguna regionalización, las variaciones entre ellos pueden explicarse por la distribución de las estaciones y las características fisiográficas que caracterizan el clima local.

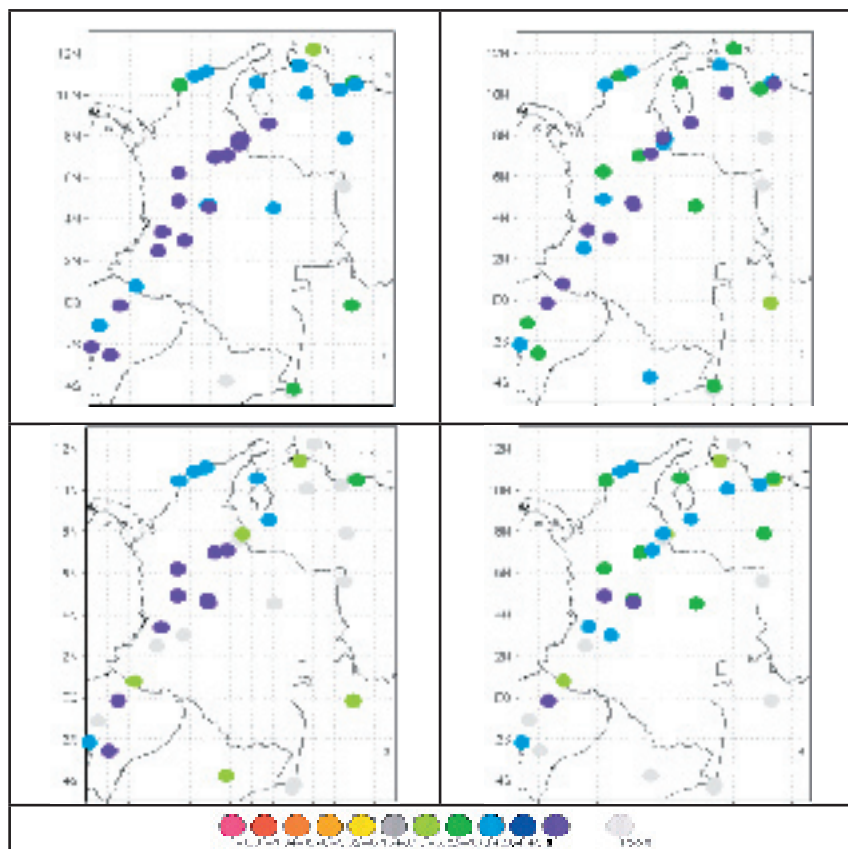


Figura 3. Correlaciones lineales de la temperatura media del aire trimestral en Colombia con la TSM en la región NIÑO 34 con 1 mes de rezago (1975-2000)

3. CONCLUSIONES

El Niño (fase cálida de ENOS) se caracteriza por el incremento de la TSM y el IMENSO, así como la disminución del IOS. En Colombia, al centro, norte y occidente del país este fenómeno ocasiona la disminución en la precipitación e incrementa la temperatura del aire. Variaciones contrarias suceden durante La Niña (fase fría de ENOS).

Existe mayor incidencia de ENOS en la temperatura del aire: con la TSM presentó correlaciones promedio de 0.41, comparado con la precipitación de -0.18; y con el IOS se obtuvo un promedio de -0.38 y 0.17 con cada variable respectivamente.

En Colombia las correlaciones de la temperatura del aire presentaron menor variación en los coeficientes de correlación con la TSM y el IOS comparadas con la precipitación, representando mayor variabilidad en la precipitación. Las variaciones de las correlaciones en la temperatura están marcadas principalmente por factores determinantes como las características fisiográficas del país.

El fenómeno ENOS tiene mayor incidencia sobre la variabilidad intranual de la precipitación y la temperatura media del aire, principalmente en el trimestre DEF.

No se establecieron mejoras (en el rango y significancia de las correlaciones) significativas al correlacionar con las anomalías anuales

Para estudios de predicción: las mayores correlaciones se obtuvieron para correlaciones sin rezago (cero meses) y/o cercanas a éste.

Las mayores correlaciones de las variables climáticas con la TSM se obtuvieron con las regiones NIÑO 4 y NIÑO 34; se observó baja correlación con la variable NIÑO 12. La TSM representa la mayor incidencia de ENOS sobre Colombia, según lo mostraron los coeficientes de correlación que se aproximaron a los mayores obtenidos con el IMENSO, el cual reúne seis variables del fenómeno ENOS.

Existen otros fenómenos de gran escala como la NAO y relaciones no lineales entre estos fenómenos que afectan el clima de Colombia, las cuales deben ser incluidas en futuros trabajos a fin de mejorar la estimación de las teleconexiones de variables macroclimáticas con la variabilidad climática interanual e intranual y su distribución espacial en el país.

Reconocimientos

Al Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Desarrollo de Suelos- IREHISA de la Universidad del Valle, al Departamento de Investigación del Clima y Sismología en el KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) del gobierno Holandés y al IDEAM, por el apoyo con los recursos necesarios para la realización de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] S.R. KOVATZ, El Niño and human health. *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, vol. 78, 9, 1127-1135.
- [2] C. WANG, Atmospheric circulation cells associated with the El Niño-Southern Oscillation, *J. Climate*, 2002, vol. 15, 399-419.

- [3] OPS- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Crónicas de Desastres Fenómeno el Niño, 1997-1998. Programa de preparativos para situaciones de emergencias y coordinación del socorro en casos de desastre. Serie: *Crónicas de Desastres*, 2000, vol. 8, 294 p.
- [4] J.D.RESTREPO, B. KJERFVE. Magdalena river: interannual variability (1975–1995) and revised water discharge and sediment load estimates, *J. Hydrol.*, 2000, vol. 235, 137–149.
- [5] G. POVEDA, A. JARAMILLO, M. GIL, N. QUICENO and R. MANTILLA. Seasonality in ENSO related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia, *Water Resour. Res.*, 2001, vol. 37, 8, 2169–2178.
- [6] F. GUTIÉRREZ & J.A. DRACUP. An analysis of the feasibility of long-range streamflow forecasting for Colombia using El Niño- Southern Oscillation indicators. *J. of Hidrology*, 2001, vol. 246, 181-196.
- [7] M.I. VÉLEZ, H. HOOGHIEMSTRA, S. METCALFE, M. WILLE and J.C. BERRÍO. Late Glacial and Holocene environmental and climatic changes from a limnological transect through Colombia, northern South America. *J. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, vol. 234, 81– 96.
- [8] CAF- CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO. *Las lecciones de El Niño, retos y propuestas para la región andina*, 2000, 3ª ed., Colombia,
- [9] J.L. SANTOS. The impacts of El Niño- Southern Oscillation Events on South America. *J. Advances in Geosciences*, 2006, vol. 6, 221-225.
- [10] G.J. VAN OLDENBORGH, G. BURGERS and A. KLEIN TANK. On the El-Niño Teleconnection to Spring Precipitation in Europe. Journal: published, *Int. J. Climatology*, 2000, vol. 20, 565-574.
- [11] G.J. VAN OLDENBORGH and G. BURGERS. Searching for decadal variations in ENSO precipitation teleconnections. *Geophys. Res. Lett.*, 2005, vol. 32, 15, L15701, doi:10.1029/2005GL023110
- [12] J.D. PABÓN, J.A. ZEA, G. LEÓN, ET AL. “La atmósfera, el tiempo y el clima”. En: *El Medio Ambiente en Colombia*. Bogotá: IDEAM. 1998, PP. 38-86.
- [13] R. MARÍN. *Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia*, 2ª ed., Bogotá: HIMAT, 1992.
- [14] R.E. ANDERSON, J.F. HAIR, R.L. TATHAM Y BLACK, W.C. *Análisis multivariante*, 5ª ed., Madrid: Prentice Hall, 1999.
- [15] LIN, GWO-FONG, CHEN, LU-HSIEN. Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. *Journal of Hydrology*, 2006, vol. 32 4, 1–9.
- [16] A. RAO and R. SRINIVAS, V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, 2006, vol. 318, 37–56.
- [17] H.W. FERNÁNDEZ. *Sequías meteorológicas en el Cono Sur de América Asociaciones con El Niño Oscilación del Sur*. Tesis de Doctorado, 2003, Editorial Fundación Universitaria de San Juan, Argentina.
- [18] CDC-CLIMATE DIAGNOSTICS CENTER (2005). *Multivarite ENSO index*. <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>. NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration. United States. Visitada en abril de 2007.
- [19] V. VAIDYA. *East African Hydroclimatic Variability: 1950-1999*. Master Thesis. 2005, Graduate Faculty of the Lousiana State University and Agricultural and Mechanical College.

- [20] V.M. CHINCHILLI, B. R. PHILLIPS, MAUGER D.T. & S. J. SZEFLER. A general class of correlation coefficients for the 2 x 2 crossover design. *J. Biom.* 2005, vol. 47, 5, 644-653.
- [21] V.B. VISAUTA. *Análisis Estadístico con SPSS para Windows*. Estadística Básica. España: McGraw-Hill, 1997.
- [22] Y. CARVAJAL, F. BARRIOS y L. CASTRO. *Análisis cluster como técnica de análisis exploratorio de registros múltiples*. Conferencia internacional en I congreso de manejo integrado de recursos hídricos, Julio de 2007. Cuba.
- [23] IDEAM-INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. *El medio ambiente en Colombia*, 2ª ed., Bogotá, 2001.
- [24] G. POVEDA y O. J. MESA. Las fases extremas del ENSO – El Niño y La Niña- y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *J. Ingeniería Hidráulica en México*, 1996, vol. XI, 21-37.
- [25] G. POVEDA and A. JARAMILLO. ENSO-Related variability of river discharges and soil moisture in Colombia, Biosphere aspects of the hydrologic cycle. *IGBP*, 2000, vol. 8, 3-6.
- [26] G. Poveda. La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *Rev. Ciencias de la Tierra*, 2004, vol. XXVIII, 107, 201-221.
- [27] Y. CARVAJAL. *El uso de funciones ortogonales empíricas y análisis de correlación canónica en el estudio de la variabilidad hidrometeorológica, aplicación al Valle del Cauca-Colombia*. Tesis Doctoral. 2004. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- [28] Y. CARVAJAL. *Estudio de variabilidad climática en Colombia como una herramienta para la planificación de los recursos naturales*. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. 2005. Convocatoria interna para proyectos de investigación y creación artística, Colombia.
- [29] G. POVEDA y O. J. MESA. Las fases extremas del ENSO – El Niño y La Niña- y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *J. Ingeniería Hidráulica en México*, 1996, vol. XI, 21-37.
- [30] A. VELÁSQUEZ y C. ROSALES, 2003. *Movimientos de masa – desastres, lluvias y ENSO en Colombia*. Poster presentation at: IX Col.Geol. Congress Abstracts. 2003, Agosto 01, Medellín, Colombia.
- [31] J. PABÓN, J. ESLAVA y R. GÓMEZ. Características de gran escala del clima de la América tropical. *Rev. Meteorol. Colombiana*, 2001, vol. 4, 47-53.
- [32] G. POVEDA, O. J. MESA and P. WAYLEN. Non-linear forecasting of river flows in Colombia based upon ENSO and its associated economic value for hydropower generation. En Diaz, H. & Morehouse, B. (eds.), *Climate and water: Transboundary Challenges in the Américas*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003. pp. 351-371.
- [33] Y. CARVAJAL, H. JIMENEZ y H. MATERON. Incidencia del fenómeno ENOS en la hidroclimatología del valle del río Cauca- Colombia. *Bulletin Institute Francaise d'Etudes Andines*, 1998, vol. 27, 3, 743-756.