

INFLUENCIA DEL EVENTO CÁLIDO DEL PACÍFICO EN LA HUMEDAD DEL SUELO Y EL ÍNDICE NORMALIZADO DE VEGETACIÓN EN COLOMBIA

Germán Poveda*; Álvaro Jaramillo-R**; Ricardo Mantilla*

RESUMEN

POVEDA, G.; JARAMILLO R., A. ; MANTILLA, R. Influencia del Evento Cálido del Pacífico en la humedad del suelo y el índice normalizado de vegetación en Colombia. Cenicafé 51(4):263-271. 2000

En Cenicafé se midió decadalmente la humedad de suelo bajo cobertura de café a libre exposición solar y bajo sombrío de guamo (*Inga* sp) y se demostró que la variabilidad anual está en fase con la variabilidad interanual, es decir, que el Evento Cálido del Pacífico (El Niño) intensifica más fuertemente las épocas de sequía y que el Evento Húmedo del Pacífico (La Niña) las disminuye. Durante La Niña 1998-1999 la humedad del suelo no tuvo carácter bimodal; a 40cm de profundidad fue mayor que a 20cm en cafetales a la sombra y en bosque. En café al sol, la humedad disminuye con El Niño. La función de densidad de probabilidades de los registros decadales revela fuertes asimetrías. En café al sol presenta mayor intermitencia, mayor coeficiente de asimetría y función de distribución de probabilidad (FDP) unimodal, y las otros dos coberturas exhiben multimodalidad en las FDP. Hubo correlaciones positivas entre el Índice de Oscilación del Sur (SOI) y el Índice Normalizado de diferencias de Vegetación (INDV), por tanto, disminución en la actividad vegetal durante El Niño. El comportamiento dinámico del INDV permite entender el ciclo del carbono en el trópico americano.

Palabras claves: *Coffea arabica*, Evento Cálido del Pacífico, Evento Frío del Pacífico, El Niño, La Niña, índice normalizado de diferencias de vegetación (INDV), humedad de suelo, café a libre exposición, sombrío.

ABSTRACT

In Cenicafé the time variability of soil moisture was studied by using time domain reflectometry data collected at depths of 20 cm and 40cm, at three sites under shadow coffee, forest, and sunlight coffee in the tropical Andes. It was observed that the annual and interannual variability of decadal (10-day average) volumetric soil moisture are highly intertwined, for the period 1997-1999, when both El Niño and La Niña were strongly developed. Soil moisture more critical negative anomalies during El Niño event, being strongest during both less rainy seasons that normally occur in central Colombia as a result of the meridional oscillation of the Inter-Tropical Convergence Zone. Thus, soil moisture anomalies are enhanced at ENSO timescale. Soil moisture anomalies are more critical at zones with sunlight coffee. Soil moisture responds to positive rainfall anomalies during La Niña 1998-1999, exhibiting maximum limits throughout that period. The probability density function of soil moisture records is highly skewed and exhibits different kinds of multi-modality depending on the type of vegetation. NDVI exhibits strong negative anomalies throughout the entire year during El Niño events, in particular during SON (0), and JJA (0), confirmed with high positive simultaneous and lagged correlation's with the Southern Oscillation Index. The latter finding has great implications on carbon, water, and energy budgets in the tropical Americas.

Keywords: *Coffea arabica*, El Niño, La Niña, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), soil moisture, free sun exposure coffee plantation, shaded coffee plantation.

* Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

** Investigador Científico II. Agroclimatología .Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia

El ciclo hidrológico en Sur América tropical está controlado fundamentalmente por la oscilación meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), pero exhibe una variabilidad espacial afectada por la presencia de la Cordillera de los Andes y la cuenca del Río Amazonas, por la circulación atmosférica asociada con la cercanía de los océanos Pacífico y Atlántico y por la interacción suelo-atmósfera. La región exhibe anomalías hidro-climáticas del mismo signo durante las dos fases del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur -ENOS (1, 15). En Suramérica tropical se presentan anomalías negativas en la precipitación y en los caudales de los ríos durante el Evento Cálido del Pacífico (El Niño) y generalmente lo contrario durante el Evento frío del Pacífico (La Niña), con pocas variaciones regionales en cuanto a la amplitud y a la distribución en el tiempo. Los mecanismos físicos asociados a estas anomalías se discuten en los trabajos de Marengo y Hastenrath (5) y Poveda y Mesa (10, 11).

En esta investigación se estudió el efecto del Evento Cálido del Pacífico sobre la humedad de suelo (variable fundamental del ciclo hidrológico) y sobre el llamado Índice Normalizado de Diferencias en la Vegetación (INDV). El INDV es una variable que está completamente ligada a la actividad de la vegetación y de paso, está asociada con alteraciones en la humedad del suelo y la evapotranspiración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para examinar la variabilidad anual e interanual de la humedad del suelo se analizaron los registros por décadas (promedios de 10 días), durante el período Abril 1997- Agosto de 1999. Durante este tiempo el océano Pacífico tropical exhibió eventos intensos de El Niño y La Niña.

Los datos de humedad volumétrica del suelo se tomaron mediante la técnica Time Domain Reflectometry (TDR), y se midieron en tres parcelas experimentales localizadas en Cenica-

fé, en Chinchiná, Caldas, en la zona cafetera de Colombia (05° 00' N, 75°36' O, 1.425m de altitud), sobre la vertiente occidental de la Cordillera central de los Andes. La humedad volumétrica del suelo se registró a 20 y 40cm de profundidad de la superficie del suelo (los datos se denominarán como HVS-20 y HVS-40, en adelante).

Las parcelas de observación presentaban diferente cobertura vegetal, así: a. Cafetal con sombrero de árboles de guamo (*Inga edulis* Mart.), el cual se denominará de aquí en adelante como café con sombra; b. bosque secundario (con regeneración de diversas especies nativas), y c. Cafetal a libre exposición solar (café al sol). Las tres parcelas estaban ubicadas a una distancia de 200m entre ellas.

La topografía del sitio exhibe pendientes moderadas (menores del 20%), con suelos profundos derivados de cenizas volcánicas y que presentan alta estabilidad estructural, permeabilidad moderada, baja densidad y ricos en contenido de materia orgánica. En general, en estas vertientes los niveles freáticos están muy profundos. El suelo del cafetal a libre exposición presenta un primer horizonte con muy bajo contenido de materia orgánica.

Los datos de precipitación sobre el área se obtuvieron mediante el promedio de los registros de dos pluviógrafos de estaciones climáticas situadas próximas a los tres sitios de medición de la humedad del suelo.

Se efectuaron análisis estadísticos de los registros de la humedad de suelo, incluyendo las correlaciones con la precipitación local, así como autocorrelación de las series, estimación de las funciones de distribución de probabilidades (FDP) y análisis de componentes principales. Se aplicó el concepto de intermitencia, que se refiere a la ocurrencia de una señal que alterna irregularmente períodos relativamente estables y picos de actividad súbita.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La intermitencia se puede cuantificar mediante la estimación de la FDP de la serie estandarizada [$dx'(t,t)=(x(t+t)-x(t))/s$], la cual posee varianza unitaria. Se utilizó el coeficiente de kurtosis, k_d , como una medida de la intermitencia, ya que ella modifica la forma de la FDP de una distribución Gaussiana ($k_d=3$) a otra más aplanada ($k_d>3$) (2, 3).

Los datos del Índice Normalizado de Diferencias en la Vegetación (INDV) para el norte del continente Suramericano se obtuvieron de los registros del instrumento “Advanced Very High Resolution Radiometer”, instalado en el satélite ambiental de órbita polar de la Administración de la Atmósfera y el Océano -NOAA (8), de Estados Unidos. Los registros corresponden al período Abril 1985-Diciembre 1997, y la escala espacial a 8 minutos de arco. Se estimaron las anomalías del INDV sobre la región durante los eventos de El Niño y se efectuaron mapas de las correlaciones estacionales entre el Índice de Oscilación del Sur (IOS) y los registros de INDV sobre Colombia y el norte de Suramérica.

Variabilidad de la humedad de suelo. Poveda y Mesa (10) y en Poveda *et al.* (13), mostraron evidencia acerca de las anomalías negativas de humedad del suelo sobre el trópico de Sur América durante El Niño, usando datos de modelación y de Reanálisis Climáticos (GEOS-1 NASA y NCEP/NCAR). Aunque la humedad de suelo es una variable “derivada” en tales modelos (no es medida), las anomalías negativas son consistentes con las registradas de precipitación y de caudales de ríos. Por ello, se ha querido investigar la variabilidad de la humedad de suelo mediante los registros tomados en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, durante el período abril 1997-agosto 1999, cuando se presentaron tanto El Niño como La Niña en el Océano Pacífico tropical.

En la Figura 1 se muestra la evolución temporal de la humedad volumétrica del suelo a 20cm de profundidad. Para estos suelos volcánicos la humedad del suelo alcanza valores máxi-

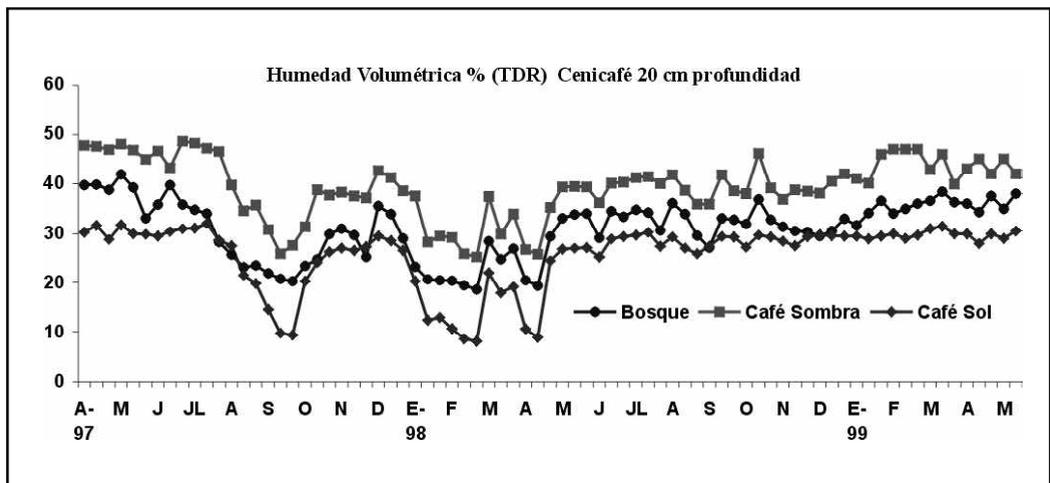


Figura 1. Evolución decadal (promedios de 10 días) de la humedad del suelo a 20 cm de profundidad en la región central de Colombia bajo tres coberturas vegetales diferentes: Café a la sombra, Café al sol y bosque natural, durante el periodo Abril de 1997 a Agosto 1999.

mos de 50-52% (generalmente justo después de una tormenta muy intensa). Estos valores se mantienen por muy poco tiempo debido a la textura, a las altas tasas de percolación y al contenido de materia orgánica (16).

Del análisis de la evolución de la HVS-20 se observan varios aspectos: la HVS-20 alcanza límites máximos del orden de 45% para café a la sombra, 35% para el bosque y 30% para café al sol. Igualmente, los registros de HVS-40 (Figura 2) muestran límites superiores del orden de 45% tanto para café a la sombra como para el bosque, y de 40% para café al sol. De acuerdo con las observaciones, la HVS registra mayores valores a 40cm que a 20cm, con rangos entre 15-45% para el bosque y entre 25-45% para café bajo sombra. Para el café al sol, la HVS a 35cm es mayor que a 20cm. Para éste último tipo de cobertura la humedad del suelo, tanto a 20 como a 35cm disminuye a los mismos valores durante las épocas más críticas de sequía del ciclo anual, que son aún más secas por la ocurrencia de El Niño. Lo anterior indica que esta columna de suelo se seca de manera más crítica.

El hecho de que la HVS sea mayor a mayor profundidad, tanto para el bosque como para el cafetal con guamo, se puede explicar en términos de una mayor tasa de evaporación cerca de la superficie que puede ser controlada más fácilmente por los procesos radiativos en el café bajo sombra. Todas las series de HVS exhiben un notable decrecimiento durante la época de julio-septiembre de 1997, así como durante diciembre 1997-marzo 1998, como resultado de la disminución de la precipitación por efecto de El Niño. Las épocas más secas corresponden a las bien conocidas épocas de menores lluvias en la región que ocurren como resultado de la oscilación meridional de la ZCIT sobre Colombia, pero en este caso el déficit de humedad del suelo se intensifica debido a los mecanismos físicos que operan en la región durante El Niño, incluyendo la retroalimentación en el sistema suelo-atmósfera (10).

La precipitación durante el período diciembre 97-enero-febrero 98 (DEF) también disminuyó debido al desplazamiento de la ZCIT al suroeste de su posición normal durante los even-

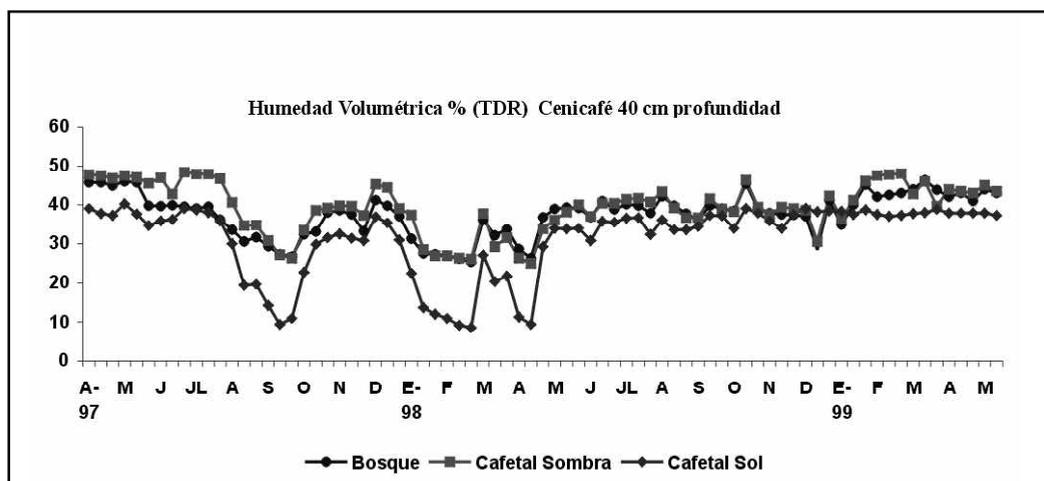


Figura 2. Evolución decadal (promedios de 10 días) de la humedad del suelo a 40 cm de profundidad en la región central de Colombia bajo tres coberturas vegetales diferentes: Café a la sombra, Café al sol y bosque natural, durante el periodo Abril de 1997 a Agosto 1999.

tos de El Niño. Para los meses de diciembre98-enero-febrero99, se presentaron anomalías positivas de precipitación como consecuencia de la fuerte ocurrencia de la fase opuesta, el fenómeno de La Niña. El coeficiente de correlación entre los registros decadales de precipitación y la primera componente principal de la HVS-20 alcanzó un valor máximo de 0,53 ($P=0,01$) cuando la precipitación antecedía la humedad de suelo en 20 días. Estos resultados indican que la variabilidad de la humedad de suelo como de la lluvia tropical a escalas anual e interanual están altamente asociadas.

Las asimetrías de las funciones de distribución de probabilidad (FDP) para HVS-20 y HVS-40 (Figura 3) varían de acuerdo con la cobertura vegetal y permiten concluir que exhiben asimetría, así como uni o multi-modalidad. La humedad de suelo en café a libre exposición solar exhibe un coeficiente de asimetría más alto (-1,52 para HVS-20 y -1,36 para HVS-40) comparados con los otros dos tipos de cobertura. Se observó un comportamiento unimodal en la FDP para café al sol y el comportamiento multi-

modal para bosque y para café bajo sombra; lo anterior posiblemente asociado con una mayor intermitencia de la humedad del suelo en el cafetal al sol, asociado a un secamiento más rápido debido a la menor retención de humedad.

La Tabla 1 presenta los valores de kurtosis estimados de k_4 para los datos originales de HVS, así como para las series normalizadas, usando diferentes valores de τ (rezago de la serie). Es de anotar que los valores más altos de k_4 corresponden a la humedad de suelo en café al sol, en particular para $\tau=1$ (rezago de la serie en diez días), lo cual confirma la mayor intermitencia de la humedad de suelo en café al sol, en comparación con el bosque y el café a la sombra. Esto, a su vez, indica una menor capacidad del suelo en café al sol para regular las oscilaciones hidrológicas, en particular, aquellas que ocurren durante los períodos de menor lluvia asociados con El Niño. La profundidad de las raíces, las tasas de evapotranspiración y los balances locales de agua y energía juegan un papel fundamental en la definición del menor grado de intermitencia de la humedad del suelo en el bosque y en

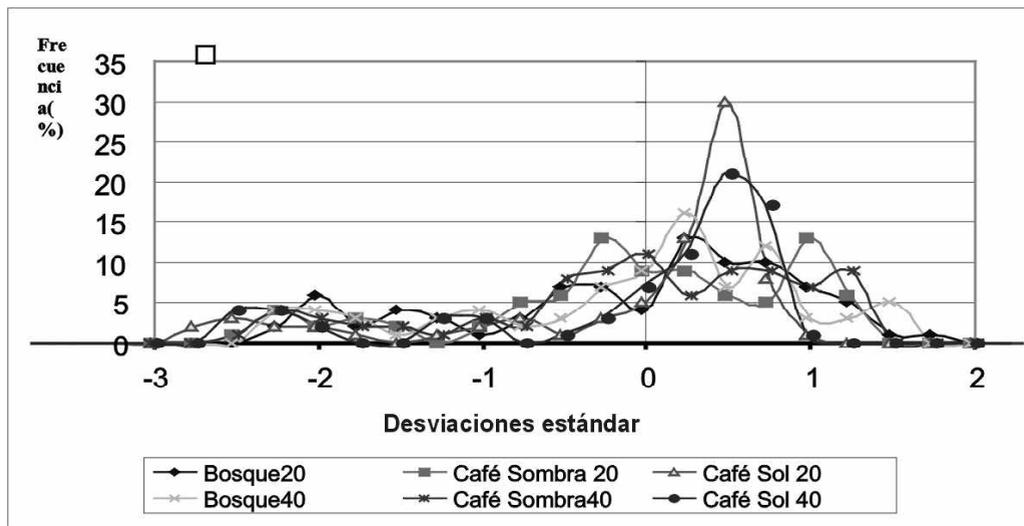


Figura 3. Funciones de densidad de probabilidad para las series de humedad del suelo a 20 y 40 cm de profundidad bajo distintas condiciones de cobertura vegetal en la región central de Colombia.

Tabla 1. Resultados de la estimación del coeficiente de kurtosis, k_4 , en tres coberturas vegetales y diferentes períodos de rezago, durante abril 1997- agosto 1999.

Cobertura Vegetal	HVS-20				HVS-40			
	Serie original	$\tau=1$ rezago 10 días	$\tau=2$ rezago 20 días	$\tau=3$ rezago 30 días	Serie original	$\tau=1$	$\tau=2$	$\tau=3$
Bosque	0,64	0,85	0,12	0,16	-0,34	2,03	2,28	2,43
Café en sombra	-0,16	0,73	0,48	0,64	-0,31	0,71	1,17	1,19
Café al sol	1,04	6,29	3,51	3,74	0,46	5,48	3,9	4,41

el café a la sombra. Por tanto, se concluye que la cobertura vegetal controla fuertemente la variabilidad hidrológica en el tiempo (y del espacio) en el trópico. Las épocas críticas de menor lluvia, particularmente aquellas asociadas con El Niño, pueden regularse o minimizarse mediante el uso del suelo.

Índice Normalizado de Diferencias en la Vegetación -INDV. Los resultados que se presentaron en la sección anterior ponen de presente los fuertes vínculos existentes entre la hidrología superficial y la vegetación en los Andes tropicales. El INDV se usa como una medida de la actividad fotosintética de las plantas, ya que es afectada por la absorción de la radiación solar por la clorofila. El INDV se define como la relación entre los términos (infrarrojo cercano - rojo) e (infrarrojo cercano + rojo) en donde el infrarrojo está en la franja espectral de 0,73-1,1 μ m, y el rojo en la franja espectral de 0,55-0,68 μ m (17, 18). En este estudio se usaron los datos de NDVI de NOAA (8), durante el período abril 1985-diciembre 1997.

La Figura 4 muestra los mapas estacionales de las anomalías de INDV (desviaciones de la media, en porcentaje) durante los Eventos Cálidos del Pacífico de 1986-87, 1991-92, 1994-1995 y 1997. Se observan anomalías negativas significativas del orden de -30% durante los eventos históricos, especialmente para los períodos junio a agosto (JJA) y septiembre a noviembre (SON) del mismo año de ocurrencia del Evento (rezago 0).

La Figura 5 muestra los mapas de correlaciones estacionales entre el Índice de Oscilación del Sur (IOS), que representa el fenómeno ENOS mediante la diferencia entre las anomalías estandarizadas de las presiones atmosféricas superficiales en Tahití y Darwin, y las anomalías de INDV sobre el trópico de Suramérica. Los resultados muestran fuertes correlaciones positivas (0,7 a 0,9) en el rezago cero (simultáneas), en particular durante los trimestres de diciembre a febrero (DEF) del año siguiente (+1), y correlaciones significativas con un mes de rezago entre el Índice de Oscilación del Sur en SON y el Índice de Vegetación en DEF. Tales correlaciones positivas entre el SOI y el INDV indican una disminución en la actividad vegetal durante El Niño, consistentemente con las anomalías negativas halladas en la precipitación y en los caudales (12, 13), así como en la humedad de suelo.

El comportamiento dinámico del INDV es altamente importante para entender el ciclo del carbono en el trópico americano, incluyendo la cuenca amazónica, y permite formular la siguiente hipótesis sobre el comportamiento de la evapotranspiración. Hay evidencias que indican: a. Una fuerte correlación entre el INDV mensual y la evaporación estimada del mes precedente (18), y b. Que las limitaciones de agua (como es el caso durante El Niño), imponen condiciones de estrés hídrico aún sobre bosques tropicales (9). Por tanto, en ausencia de mediciones extensas en grandes áreas del trópico americano, se conjetura que se presentan anomalías negativas en evaporación real durante las épocas

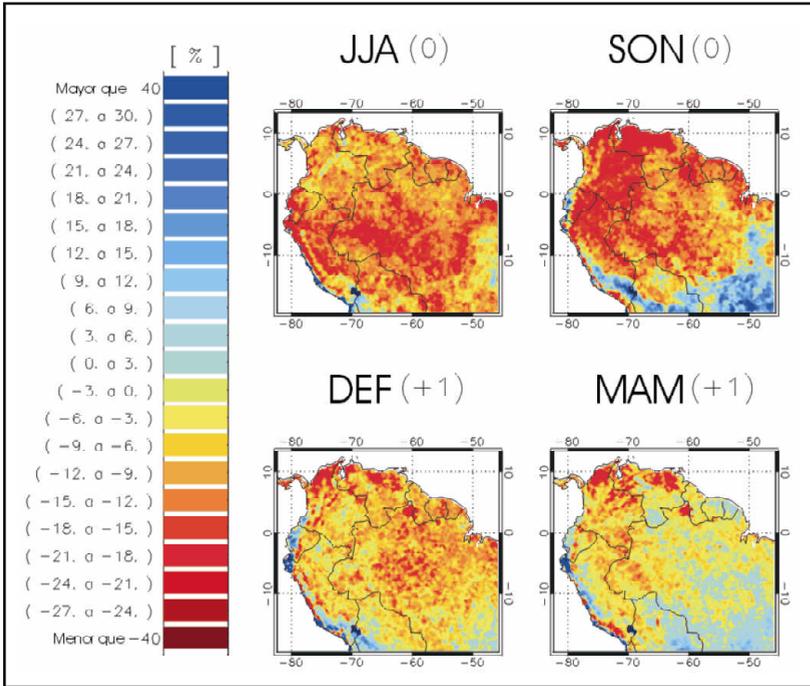


Figura 4. Mapas de las anomalías promedio de INDV registradas durante los episodios El Niño de 1986-87, 1991-92, 1994-95, y 1997. La anomalía se expresa como el cambio porcentual de la media de INDV registrada en los años El Niño y la de los demás años del período de registro (1985 - 1997).

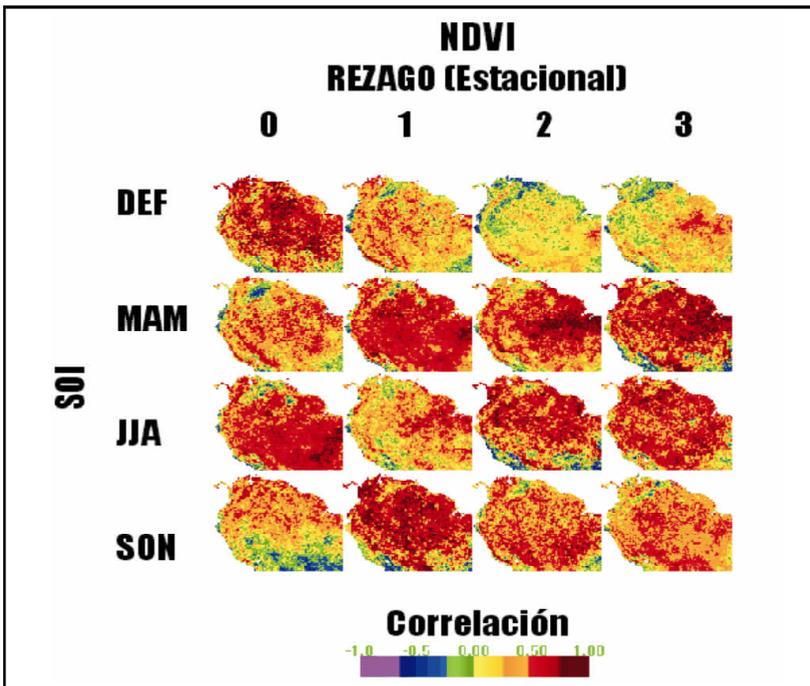


Figura 5. Mapas de correlación estacional entre las anomalías del IOS y el INDV sobre Colombia. Fuente de los datos: NOAA (8).

más secas asociadas con El Niño en Colombia, y consistentemente, anomalías positivas en evaporación potencial, si nos apoyamos en la complementariedad que se da entre ambos tipos de evaporación para bajos contenidos de humedad en el sistema suelo-planta (4, 6).

A partir de mediciones detalladas de la evolución decadal de la humedad volumétrica del suelo bajo diferentes coberturas vegetales, se ha demostrado que la variabilidad anual está en fase con la variabilidad interanual; esto significa que El Niño intensifica más fuertemente las épocas de sequía (normales dentro del ciclo anual) y que La Niña las disminuye. Durante La Niña 1998-1999, los datos de humedad de suelo no reflejaron el carácter bimodal que exhibe normalmente el ciclo anual de esta variable. La humedad de suelo a 40cm es mayor que a 20cm en café a la sombra y en bosque. Para café al sol, la humedad se deprime a los mismos valores en las épocas de sequía más intensa asociadas al evento El Niño.

La estimación de la FDP de los registros decadales de la humedad de suelo permite observar fuertes asimetrías. El café al sol presenta mayor intermitencia, mayor coeficiente de asimetría y una FDP unimodal, y los otros dos tipos de cobertura exhiben multimodalidad en las FDP. Esta multimodalidad en la humedad de suelo ha sido modelada mediante ecuaciones diferenciales no lineales forzadas por ruido estocástico (14). Los resultados de este estudio sugieren que la multimodalidad de la FDP de la humedad del suelo está asociada con el papel que juega el sistema hidrología superficial-vegetación, cuando está sujeto a un forzamiento climático similar. Se confirma mediante mediciones detalladas que la vegetación y la cobertura vegetal modulan fuertemente la variabilidad espacio-temporal de la hidrología del trópico americano, y los períodos de sequía más críticos pueden ser regulados mediante una cobertura vegetal adecuada.

Los análisis de los datos de INDV muestran fuertes anomalías negativas durante todo el año cuando ocurre El Niño, particularmente durante septiembre-octubre-noviembre (del año 0), SON (0), JJA (0) y DEF (+1), lo cual se confirma por las correlaciones positivas muy significativas con el Índice de Oscilación del Sur. El decrecimiento en la actividad vegetal (INDV) durante El Niño es totalmente consistente con las anomalías negativas encontradas en la precipitación, los caudales de los ríos y en la evaporación real sobre la región.

Estos resultados y el trabajo de Poveda *et al.* (13), apuntan a desarrollar un marco conceptual hidrológicamente consistente, necesario para entender el acoplamiento no lineal entre la variabilidad anual e interanual del ciclo hidrológico, así como su conexión con el balance de energía y la vegetación en el trópico americano, una región que comprende los Andes tropicales, el “punto caliente” fundamental en la biodiversidad de la tierra, según Myers *et al.* (7) y la cuenca Amazónica, sin duda una de las regiones hidrológicamente más importantes del planeta.

LITERATURA CITADA

1. ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review* 116:505-524. 1988
2. BATCHELOR, G. K.; TOWNSEND A. A. The nature of turbulent motions at large wave numbers. *Proceeding of the Royal Society* 199: 238. 1949
3. BRUNO, R.; BAVASSANO, B.; PIETROPAOLO, E.; CARBONE, V.; VELTRI, P. Effects of intermittence on interplanetary velocity and magnetic field fluctuations anisotropy. *Geophysical Research Letters* 26: 3185-3188. 1999
4. BRUTSAERT, W.; PARLANGE, M. Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. *Nature* 396: 30. 1998.

5. MARENGO, J.A.; HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin», *J. Climate* 6: 617-627. 1993.
6. MORTON, F. Estimating evapotranspiration from potential evaporation: Practicality of an iconoclastic approach. *J. Hydrol.* 38: 1-32. 1978.
7. MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G. A. B. DA.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature* 403: 853-858. 2000.
8. NOAA Time Series of Global Monthly Vegetation Cover from NAOO/AVHRR: April 1985-December 1997. 1998. (Publicado en CD-ROM por NOAA/NESDIS/NCDC).
9. OREN, R.; ZIMMERMANN, R.; TERBORGH, J. Transpiration in upper Amazonia floodplain and upland forests in response to drought-breaking rains. *Ecology* 77: 968-973. 1996.
10. POVEDA, G.; MESA O.J. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmosphere phenomena. *J. Climate* 10: 2690-2702. 1997.
11. POVEDA, G.; MESA, O. J. On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): Enhanced ocean-atmosphere-land interaction by a low-level jet. *Geoph. Res. Lett.* (11): 1675-1678. 2000.
12. POVEDA, G.; GIL, M.M.; QUICENO, N. The relationship between ENSO and the annual cycle of Colombia's hydro-climatology. *In: Symposium on Global Change Studies*, 10. American Meteorology Society, Dallas, Texas. 1999. p. 157-160.
13. POVEDA, G.; JARAMILLO, A.; GIL, M.M.; QUICENO, N.; MANTILLA, R. Phase-locking between annual and interannual (ENSO) timescales in Precipitation, River Discharges, Soil Moisture and NDVI in Colombia. 2000. *Water Resour. Res.* (aceptado para publicación)
14. RODRIGUEZ-ITURBE, I.; ENTEKHABI, D.; BRAS, R.L. Nonlinear dynamics of soil moisture at climatic scales, 1, Stochastic analysis. *Water Resour. Res.* 110: 1487-1494. 1991.
15. ROPELEWSKY, C.F.; HALPERT, M.S. Quantifying Southern Oscillation-Precipitation relationships. *J. Climate* 9:1043-1059. 1996.
16. SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S.; PAPENDICK, R.I. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society American Journal* 50: 1031-1036, 1986.
17. SZILAGYI, J. D.; RUNDQUIST, C.; GOSSELIN, D.C.; PARLANGE, M. B. Relationship to monthly evaporation. *Geoph. Res. Letter* 25:1753-1756. 1998.
18. TARPLEY, J.D.; SCHNEIDER, S.R.; MONEY, R.L. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. *J. Climate and Appl. Meteorol.*, 23: 491-494. 1984.