

SEÑALES DE VARIABILIDAD Y CAMBIO EN ALGUNAS SERIES ANUALES DE PRECIPITACIÓN DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

Andrés Javier Peña-Quiñones*, María José Paternina-Quijano**

RESUMEN

PEÑA Q., A.J.; PATERNINA Q., M.J. Señales de variabilidad y cambio en algunas series anuales de precipitación de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 61 (2):174-187.2010

En este trabajo se analizan las series pluviométricas anuales de cinco estaciones meteorológicas ubicadas en la zona cafetera colombiana, para determinar la importancia del análisis de escenarios de cambio climático frente a los escenarios de variabilidad climática. Los resultados muestran que, en las estaciones analizadas, la lluvia anual no presenta cambios significativos en el tiempo, es decir, no existe una tendencia marcada en las series; mientras que la variabilidad climática asociada al efecto del Pacífico Tropical (ENOS) explica en gran medida el comportamiento de la serie anual. Al respecto, se observa una relación fuerte entre el valor del promedio anual del índice que caracteriza las dos fases de ENOS y la lluvia anual, así como una relación muy fuerte entre este mismo índice y el número de días con precipitación en el año. A su vez, se detecta un ciclo que marca una periodicidad fuerte de 16 años, lo que puede estar asociado con los eventos secos y lluviosos más severos de las últimas épocas. En ese sentido, desde el punto de vista práctico, para toma de decisiones, son más importantes los escenarios de variabilidad de la lluvia anual.

Palabra clave: Escenarios de variabilidad climática, efecto del Pacífico Tropical.

ABSTRACT

In this work, we analyze the pluviometric annual series of five meteorological stations located in the Colombian coffee zone in order to determine the importance of the analysis of climatic change scenarios regarding climatic variability scenarios. The results show that, in the analyzed stations, annual rainfall does not exhibit meaningful changes in time. There is no remarkable trend in the series; whereas the climatic variability associated to the El Niño Southern Oscillation (ENSO) explains the behavior of the annual series to a great extent. In relation to this, we observed a strong relation between the annual average value of the index that characterizes both ENSO phases and annual rainfall, and also between such index and the number of rainfall days per year. Besides, a cycle that defines a strong periodicity of 16 years is detected, which can be associated with the most severe dry and rainy events of the last years. In this sense, from a practical viewpoint, the annual rainfall variability scenarios are more important.

Keywords: Climatic variability scenarios, El Niño Southern Oscillation.

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

** Estudiante de Especialización en Estadística Aplicada. Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia.

La mayoría de estudios encaminados a determinar el efecto del cambio del clima sobre las especies cultivadas utiliza la metodología planteada por Fisher *et al.* (9), que parte de una aproximación al conocimiento del clima futuro y del efecto del clima sobre los sistemas de cultivo, para generar escenarios agrícolas futuros. No obstante, por facilidad, en la práctica, el posible clima futuro se obtiene a partir de los modelos climáticos globales (MCG), cuya resolución y precisión en condiciones montañosas ha sido ampliamente cuestionada (23) y el efecto del clima sobre los sistemas de cultivo se reduce a presumir que los cultivos son poblaciones y, por ende, fácilmente modelables a partir del conocimiento de los umbrales climáticos óptimos, enfoque que según Milesi y López (22), deja implícito que la realidad del ecosistema es simple y predecible con un par de variables. En consecuencia, la generación óptima de escenarios productivos futuros en la agricultura tiene dos cuellos de botella, el primero relacionado con la resolución espacial de los modelos del clima y el segundo, relacionado con el enfoque utilizado para determinar el efecto del clima sobre la especie.

La preocupación por la resolución con la que trabajan los MCG no es nueva y desde principios de esta década se han realizado trabajos enfocados en la “reducción de escala”, tanto empírica como dinámica, para generar datos climáticos con mayor resolución espacial a partir de datos de un MCG. Los resultados obtenidos no tienen mayor certidumbre que los del modelo inicial, razón por la cual algunos investigadores han propuesto técnicas de reducción de escala más sencillas, como por ejemplo, la propuesta por Ramírez y Jarvis (30). Eso quiere decir que, con mayor recurso computacional que científico se podría realizar un acercamiento al clima futuro de un país con una resolución espacial adecuada. Sin

embargo, en muy pocas ocasiones se hace referencia a la relación existente entre el clima simulado por un MCG y la tendencia climática encontrada en un sitio determinado. Tampoco se ha cuestionado la relevancia de la generación de escenarios de cambio climático en relación con la relevancia de generarlos para la variabilidad climática.

Atender esos puntos es importante, ya que muchos trabajos realizados en diferentes latitudes muestran que el cambio climático regional y local tiene particularidades que no son consistentes con los patrones de cambio a escala global (6, 7, 27, 35). Por este motivo y por la importancia de la lluvia para el cultivo del café en nuestras condiciones (secano), en este trabajo se pretende determinar la utilidad de la generación de escenarios futuros de lluvia (cambio) frente a la posibilidad de elaborar escenarios de variabilidad pluvial (actual), en un horizonte de tiempo de pocos años en el futuro. Para cumplir este objetivo se hizo un análisis a escala anual, de la significancia estadística de la tendencia y la variabilidad de la precipitación anual de cinco estaciones meteorológicas de la zona cafetera colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variables analizadas

De las estaciones meteorológicas El Jazmín, Cenicafé, Naranjal, Manuel Mejía y Pueblo Bello (Tabla 1), se analizaron las series anuales de precipitación (cantidad, número de días con precipitación y distribución a través del año). La cantidad de precipitación corresponde al acumulado anual de las lluvias; el número de días con precipitación se determinó asumiendo que un día lluvioso es aquel que tiene más de 0,1 mm de lluvia y se determinaron como meses clave para el análisis de los cambios en la distribución intra-anual de las lluvias, enero, abril, julio y

Tabla 1. Estaciones meteorológicas analizadas.

Estación meteorológica	Municipio (Departamento)	Coordenadas geográficas			Período
		Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud(metros)	
El Jazmín	Santa Rosa (Risaralda)	04°55'	75°37'	1.635	1960 – 2006
Cenicafé	Chinchiná (Caldas)	05°00'	75°36'	1.310	1942 – 2006
Naranjal	Chinchiná (Caldas)	04°58'	75°39'	1.381	1956 – 2006
Manuel Mejía	El Tambo (Cauca)	02°24'	76°44'	1.735	1953 – 2006
Pueblo Bello	Pueblo B. (Cesar)	10°25'	73°34'	1.134	1958 – 2006

octubre, meses inmediatamente posteriores a los solsticios y equinoccios, considerando que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que determina la variabilidad intra-anual de la lluvia en la región andina colombiana, se mueve con un retraso cercano a un mes con respecto al movimiento aparente del Sol (18).

Metodologías de análisis

Variabilidad climática. Se realizaron análisis descriptivos a las series de tiempo; unos para detectar variabilidad cíclica en las series anuales de precipitación, para lo cual se utilizaron promedios móviles y la Función de Autocorrelación Simple (FAS), y otro, para determinar el efecto de la variabilidad climática no cíclica al comparar los registros históricos de índices y variables que describen fenómenos de macroescala que afectan el clima de la zona cafetera con los valores anuales de precipitación.

Los promedios móviles se utilizan para detectar ciclos a través de la “suavización” de las series anuales. Para este análisis se

utilizó el método propuesto por Burroughs (3), de la siguiente manera, medias móviles de 7 años con una función filtro (Ecuación <<1>>), que matemáticamente corresponden a la Ecuación <<2>>.

$$F_N = \left\{ \frac{\text{sen}^2\left(\frac{4\pi}{T}\right)}{16\text{sen}^2\left(\frac{\pi}{T}\right)} \right\} \quad \text{<<1>>$$

$$YK = \frac{1}{16} (Y_{k-3} + 2Y_{k-2} + 3Y_{k-1} + 4Y_k + 3Y_{k+1} + 2Y_{k+2} + Y_{k+3}) \quad \text{<<2>>$$

La ventaja de este tipo de promedio móvil es que disminuye la posibilidad de incurrir en la generación de periodicidades irregulares, a diferencia de lo que ocurre con el promedio móvil tradicional (19).

La FAS sirve para corroborar las periodicidades detectadas con el análisis del promedio móvil. La FAS puede definirse como el conjunto de coeficientes de correlación resultantes de comparar (relacionar) la serie

temporal con ella misma, considerando el concepto de rezago, es decir, que si la serie tiene correlaciones altas con ella misma, pero con un rezago x , la serie tiene una componente cíclica fuerte (5, 34), o dicho de otra forma, al haber ciclicidad en una serie, los valores separados entre sí, por periodos de tiempo iguales al período del ciclo, deben estar relacionados, pues tienden a repetir un movimiento similar en instantes iguales (1).

El efecto de la variabilidad climática no cíclica se exploró a través de la correlación entre los valores anuales de precipitación y el promedio anual del Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en Inglés), que es la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región 3.4 del Océano Pacífico Tropical, que sirve para determinar si se está bajo influencia de El Niño (anomalía positiva) o La Niña (anomalía negativa). Es importante anotar que diferentes autores han determinado el efecto de esta onda sobre el clima de la región (10, 21, 29) y que este trabajo no pretende encontrar relaciones entre esos eventos y la lluvia, sino el efecto medio que ejerce la temperatura superficial del mar del Océano Pacífico Tropical sobre la lluvia de la región cafetera a escala anual.

Cambio climático. Se planteó una metodología no paramétrica para definir si existen tendencias en las series anuales de precipitación que permitan concluir con respecto a un efecto del cambio climático, en la región cafetera central. Se utilizó la prueba de Mann-Kendall, considerada como una de las más robustas para determinar la existencia de tendencias significativas en series temporales (11). La base estadística de este test fue propuesta por Mann en 1945 y como hipótesis nula (H_0) se plantea que los datos de la serie vienen de una población donde las medidas son independientes e idénticamente distribuidas (12). La hipótesis alterna (H_1), es que los datos siguen una tendencia “monotónica”

en el tiempo. Teniendo en cuenta H_0 , el estadístico de Mann-Kendall (S) se presenta en la Ecuación <<3>>.

$$S = \sum_{j < k} a_{jk} \quad \text{<<3>>$$

Donde

$$a_{jk} = \text{sign}(x_i - x_j) = \begin{bmatrix} +1, & x_j < x_k \\ 0, & x_j = x_k \\ -1 & x_j > x_k \end{bmatrix}$$

Mientras que, j y k son dos posiciones dentro de la serie de tiempo, siendo j la posición antecedente y k cualquier posición siguiente, satisfaciendo $j < k$, de tal forma que la mayor diferencia ($k - j$) es igual a $n-1$, siendo n el tamaño de la serie de tiempo. En ese sentido, cuando el valor de S es positivo, significa tendencia incremental y que la variable adquiere valores más altos con el tiempo; por el contrario, cuando tiene valores negativos significa tendencias negativas. En 1975, Kendall demostró que la distribución de S era normal y determinó una corrección para cuando existen “empates” ($x_j = x_k$) (12), por lo que se puede determinar si la tendencia de la serie es significativa y aceptar la hipótesis nula o la alterna con base en la probabilidad de z (24).

Se cuantificó el valor de la tendencia de la serie por medio del método de Sen (31), el cual calcula este valor como la pendiente o el cambio de la precipitación anual por efecto del cambio del tiempo (años), como se muestra en la Ecuación <<4>>.

$$Q = \text{Med} \left[\frac{P_j - P_i}{J - i} \right] \quad \text{<<4>>$$

Donde:

Q: Pendiente. Se calcula como una mediana

P_j: Precipitación medida en el año j

P_i: Precipitación medida en el año i

j : Año cualquiera después del año i

Un ejemplo del cálculo de la pendiente y del S de Mann-Kendall, para una serie hipotética de 5 años, se muestra en la Tabla 2.

Para determinar si, al interior del año, las épocas secas y húmedas están desplazándose para dar paso a un régimen intra-anual de lluvias diferente, se hizo una prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS), a la precipitación acumulada durante los meses de enero, abril, julio y octubre. Los meses representativos se escogieron bajo la premisa de que en Colombia el principal determinante de la distribución intra-anual de lluvias en las regiones Andina y Caribe es la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), cuyo movimiento determina las épocas húmedas y secas (18).

La prueba no paramétrica de KS está diseñada para determinar si dos conjuntos de datos difieren significativamente (32), por ello, se escogieron dos períodos de la

serie para hacer la comparación; el primero, que está compuesto por los primeros 25 registros (mensuales multianuales), y el segundo, compuesto por los 25 últimos. El resultado dejará ver, mediante el análisis del estadístico “D” y el p-valor, si por ejemplo, la distribución de los últimos meses de enero de la serie difiere de la de los 25 iniciales. En caso de que haya una diferencia significativa en las distribuciones, podría tratarse de un cambio significativo en el patrón intra-anual de lluvias, como se observa en la Figura 1a, en donde se muestra lo que se espera de un mes que está dejando de ser lluvioso y está pasando a ser más seco, en comparación con la situación en que la distribución no sufre cambios significativos (Figura 1b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad climática. Los años más lluviosos de las series analizadas están relacionados con períodos de enfriamiento del Océano Pacífico Tropical (10); un ejemplo claro es el año 1999, cuando ocurrió un evento de La Niña fuerte y prolongado, que incrementó el total anual de lluvia en las cinco estaciones meteorológicas bajo análisis. De otro lado,

Tabla 2. Cálculo de S y de Q, para las pruebas de Mann-Kendall y de Sen.

Año	1	2	3	4	5	+	-
Prec	2500	2467	2478	2345	2298		
j-i=1	.	-33	11	-133	-47	1	3
j-i=2	.	.	-22	-122	-180	0	3
j-i=3	.	.	.	-155	-169	0	2
j-i=4	.	.	.	.	-202	0	1
Suma	.	.	.	.	.	1	9
Valor de S							-8
Valor de Q							-51

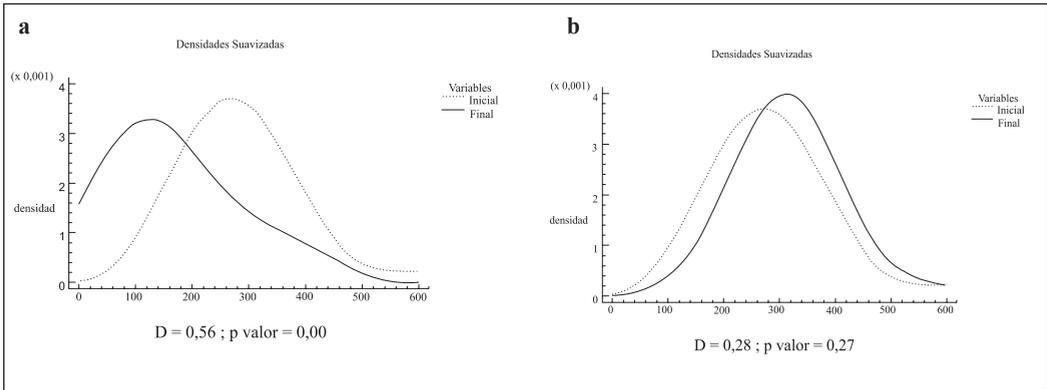


Figura 1. Interpretación del análisis de K – S.

períodos más secos se relacionan con años en los que predominan aguas cálidas sobre el Pacífico Tropical, como es el caso del año 2002, cuando las precipitaciones anuales de las cinco estaciones meteorológicas bajaron drásticamente (Figura 2). Sin embargo, hay años en los cuales llueve muy por encima del promedio sin tener, necesariamente, enfriamiento en las aguas del Océano, como sucedió, en el 2003 en El Jazmín o en el 2005 en Cenicafé. Este comportamiento puede estar asociado a eventos de enfriamiento de corta duración que se enmascaran al hacer el análisis en escala anual, fenómenos locales generadores de altas lluvias o el efecto de otros generadores de variabilidad climática independientes de ENOS, tal como la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) o el efecto de ondas Madden-Julian (4).

Pese a esto, la temperatura media anual de la superficie del Océano Pacífico Tropical está muy asociada a la lluvia acumulada anual de las estaciones climáticas (Tabla 3). En la Tabla 3 la temperatura media superficial del mar en la región 3.4 del Océano Pacífico está caracterizada como el promedio anual del Índice Oceánico de El Niño (ONI) (29). Sin embargo, debe anotarse que el ENOS tiene un mayor efecto sobre el número de

días con precipitación anual (Tabla 3) que sobre el acumulado anual de lluvias, tal como lo reportan Peña *et al.* (26), en el Valle del Cauca.

Los promedios móviles marcan una alternancia de años consecutivos secos con años consecutivos lluviosos, que determinan períodos característicos en las estaciones meteorológicas analizadas; por ejemplo, lluvias excesivas en los primeros años de la década de 1970; lluvias escasas a finales de esa década y principios de la década de 1980; una década de 1980 con gran cantidad de lluvias, principios de 1990 con pocas lluvias, mientras que a finales de la década de 1990 se presentó un incremento de éstas con una disminución de las mismas a principios de la década del 2000 (Figura 3). Sin embargo, pese a lo anterior, la función de autocorrelación deja ver que no hay una estacionalidad significativa (95% de confianza) en las series analizadas (Tabla 4), pero sí se observan unas correlaciones que podrían explicar el comportamiento descrito por los promedios móviles, como la correlación negativa con rezago 8-9, que determina la alternancia de períodos secos y húmedos espaciados entre 8 y 9 años, en las estaciones de la zona cafetera central (Caldas y Risaralda), y la

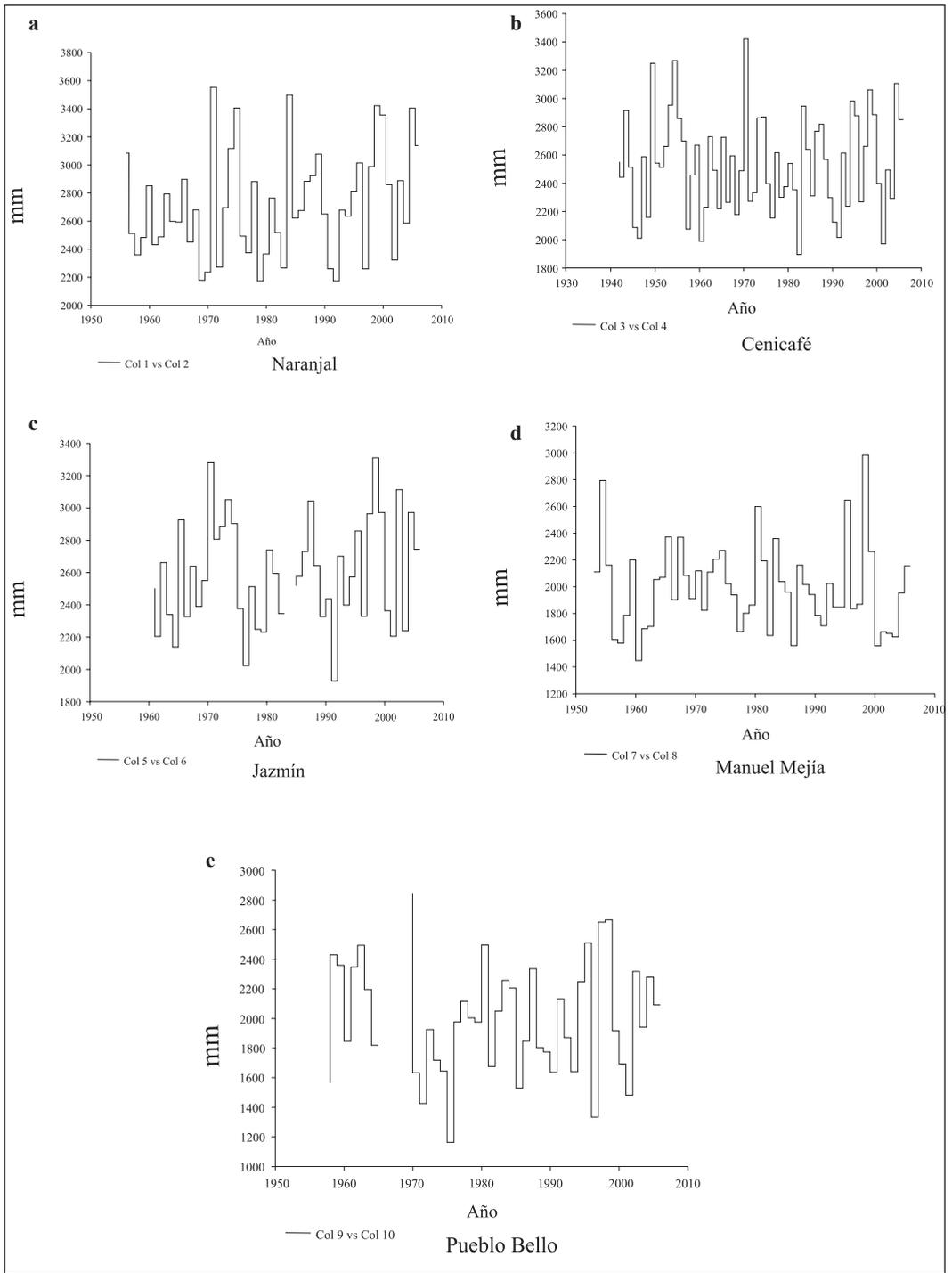


Figura 2. Series anuales de precipitación de las estaciones analizadas.

Tabla 3. Relación entre el ONI y la precipitación .

Variable		Naranjal	Cenicafé	El Jazmín	Manuel Mejía	Pueblo Bello
Precipitación	Coefficiente r	-0,5878	-0,5978	-0,4679	-0,5560	-0,3332
	Número de datos	(51)	(57)	(45)	(54)	(46)
	p-valor	0,0000	0,0000	0,0012	0,0000	0,0236
Número de días con lluvia	Coefficiente r	-0,8077	-0,8004	-0,6792	-0,7040	-0,3162
	Número de datos	(51)	(57)	(46)	(54)	(46)
	p-valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0323

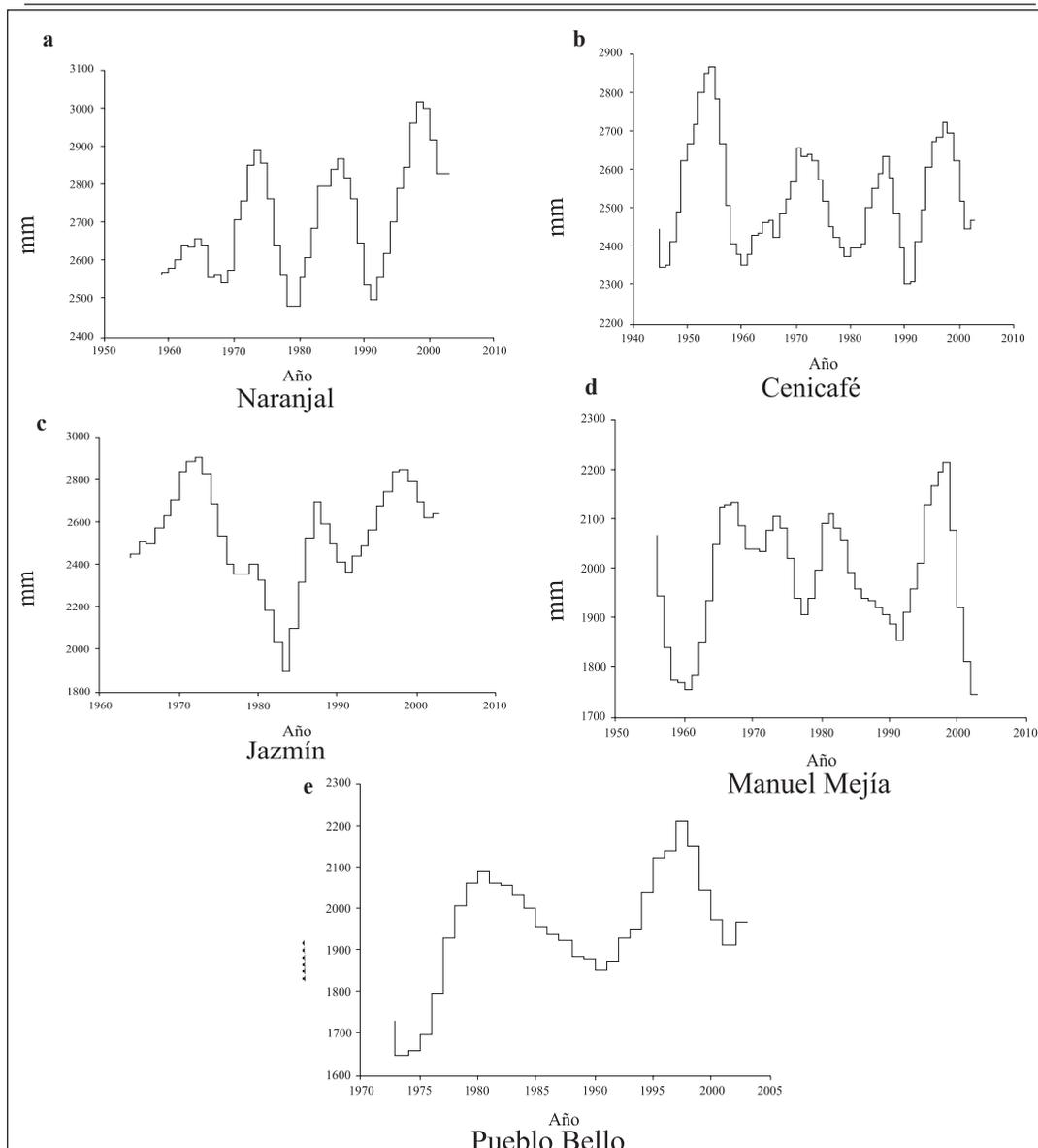


Figura 3. Series anuales de precipitación de las estaciones analizadas.

correlación positiva con rezago 15, en las otras dos estaciones, que define la presencia de períodos secos o húmedos con frecuencia de 15 años (Tabla 4).

Los promedios móviles muestran, para las cinco estaciones analizadas, el efecto contrario al encontrado por Landscheidt (17) para el comportamiento multianual de la sequía en Estados Unidos (Figura 4), la cual tiene un ciclo de 16 años que está relacionado con la actividad solar, específicamente a los ciclos del movimiento orbital del Sol alrededor del centro de masa del sistema solar (15). Según Landscheidt (16), las fases relacionadas con los ciclos del movimiento solar tienen relación con la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), el ENOS y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), que según el Comet Program (4), pueden modular el clima en regiones tropicales. Según Wigley y Raper (33), el ciclo de 16 años está asociado específicamente con la tasa de cambio del momento angular de la órbita del Sol, así como la fuerza de rotación que impulsa el movimiento orbital del Sol (torque). No obstante, en la región cafetera central el ciclo de 16 años (cresta a cresta) está mejor representado por medio ciclo (cresta a valle), el cual determina que, en términos de lluvia, el año 1991/92 haya tenido un comportamiento inverso a 1999/00 (8 años), mientras que en las estaciones del Sur y del Norte es más sensible al ciclo completo que determina que el año 1986/87 sea similar en lluvias al año 2002.

Al respecto, vale la pena anotar que Mesa *et al.* (21) relacionaron series de caudales de ríos de diferentes regiones del país con un modulador climático extraplanetario (manchas solares) y encontraron que la relación entre estas variables no era significativa; mientras que Peña (25), usando análisis de densidad espectral y periodograma, encontró un ciclo de 16,5 años en las series de precipitación (1931-1980) de la estación Palmira.

Cambio climático. En la Tabla 5, se observa que con excepción de la estación Manuel Mejía, el acumulado anual de precipitación de las estaciones bajo análisis tiene tendencias incrementales (valor de S positivo), pero éstas no son estadísticamente significativas al 95% de confianza (P valor); los límites de confianza de la pendiente, generados por el método de Sen, no son consistentes, es decir, hay tanta probabilidad de que en los siguientes años, la precipitación disminuya como que se incremente. Por su parte, la misma estación que tiene tendencia negativa en el acumulado anual de lluvias, es la única estación en la que el número de días con precipitación al año presenta tendencia significativa (Tabla 5); en la estación Manuel Mejía el número de días con lluvia por año disminuye a una tasa de 6 días por cada diez años, lo cual puede estar asociado con cambios en la cobertura vegetal, dado que el departamento del Cauca está en un proceso de “antropización” y “potrerización” que ha alterado, entre otras variables, las precipitaciones (8).

Con excepción de lo que sucede en la estación meteorológica Manuel Mejía (Cauca), los resultados obtenidos están relacionados con los presentados por el IDEAM (13), quienes encontraron tasas de aumento de la precipitación en Cauca, Cesar y Caldas; sin embargo, aunque la tendencia es en el mismo sentido, las series analizadas no tienen tendencia significativa, por lo que según la definición de cambio climático emitida por el IPCC (14), se puede decir que, la lluvia anual no está cambiando. Los resultados obtenidos avalan la tesis planteada por Boshell (2) y Yunling y Yiping (35), quienes opinan que el cambio climático tiene particularidades regionales, que en zonas o regiones montañosas están determinadas por la orografía y la vegetación que establecen gran parte del microclima.

Tabla 4. Función de Autocorrelación Simple.

Rezago	Naranja			Cenicafé			El Jazmín			Manuel Mejía			Pueblo Bello		
	r	I ₉₅	S ₉₅	r	I ₉₅	S ₉₅	r	I ₉₅	S ₉₅	r	I ₉₅	S ₉₅	r	I ₉₅	S ₉₅
1	0,05	-0,27	0,27	0,08	-0,24	-0,24	0,12	-0,29	0,29	0,14	-0,27	0,27	0,09	-0,28	0,28
2	-0,13	-0,28	0,28	-0,15	-0,24	-0,24	0,06	-0,29	0,29	-0,16	-0,27	0,27	-0,26	-0,28	0,28
3	0,06	-0,28	0,28	-0,01	-0,25	-0,25	0,08	-0,29	0,29	-0,01	-0,28	0,28	-0,01	-0,30	0,30
4	-0,03	-0,28	-0,04	-0,04	-0,25	-0,25	-0,18	-0,30	0,30	-0,07	-0,28	0,28	0,05	-0,30	0,30
5	-0,04	-0,28	-0,07	-0,07	-0,25	-0,25	-0,06	-0,31	0,31	-0,17	-0,28	0,28	-0,15	-0,30	0,30
6	-0,01	-0,28	-0,08	-0,08	-0,25	-0,25	-0,22	-0,31	0,31	-0,12	-0,29	0,29	-0,16	-0,31	0,31
7	0,01	-0,28	-0,09	-0,09	-0,25	-0,25	0,03	-0,32	0,32	-0,08	-0,29	0,29	0,10	-0,31	0,31
8	-0,25	-0,28	-0,18	-0,18	-0,25	-0,25	-0,14	-0,32	0,32	-0,11	-0,29	0,29	0,03	-0,32	0,32
9	0,00	-0,30	-0,09	-0,09	-0,26	-0,26	-0,22	-0,32	0,32	-0,04	-0,30	0,30	-0,15	-0,32	0,32
10	0,17	-0,30	0,04	0,04	-0,26	-0,26	0,03	-0,34	0,34	0,00	-0,30	0,30	0,12	-0,32	0,32
11	0,17	-0,31	0,15	0,15	-0,26	-0,26	-0,10	-0,34	0,34	0,08	-0,30	0,30	0,22	-0,33	0,33
12	0,06	-0,31	0,00	0,00	-0,27	-0,27	0,13	-0,34	0,34	-0,08	-0,30	0,30	-0,27	-0,34	0,34
13	-0,01	-0,31	-0,17	-0,07	-0,27	-0,27	-0,02	-0,34	0,34	-0,01	-0,30	0,30	-0,22	-0,35	0,35
14	-0,04	-0,31	0,00	0,00	-0,27	-0,27	0,04	-0,34	0,34	0,03	-0,30	0,30	0,06	-0,36	0,36
15	0,11	-0,31	0,03	0,03	-0,27	-0,27	0,19	-0,34	0,34	0,22	-0,30	0,30	0,25	-0,36	0,36
16	-0,05	-0,32	0,03	0,06	-0,27	-0,27				-0,02	-0,31	0,31	-0,17	-0,38	0,38
17	-0,16	-0,32	-0,12	-0,12	-0,27	-0,27				-0,05	-0,31	0,31			

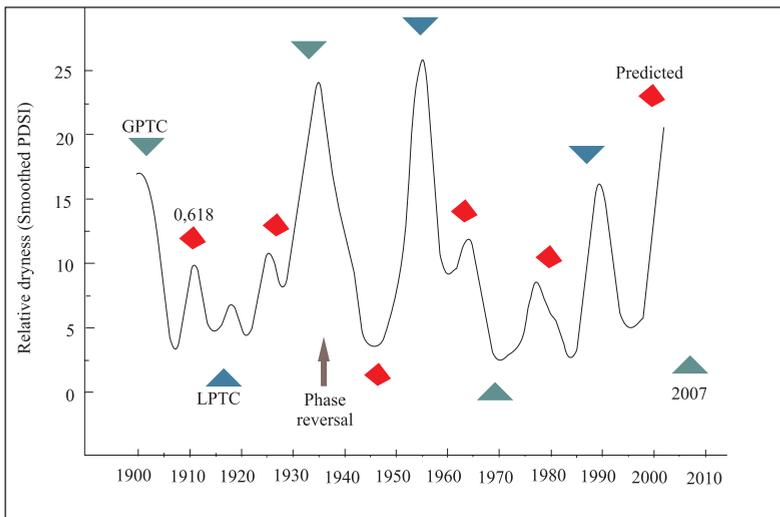


Figura 4. Comportamiento de la sequía en Estados Unidos (17).

Los análisis realizados para determinar si en el comportamiento intra-anual de la precipitación están ocurriendo cambios significativos con el tiempo (95% de confianza), muestran que, en comparación con la condición pasada, la distribución actual de los datos de lluvia de los meses característicos de las temporadas secas y húmedas del año no ha cambiado (Tabla 6), tal como se ha reportado para otros sitios (20, 28). En las estaciones meteorológicas analizadas esto está asociado a la ubicación geográfica, debido a que el determinante de las temporadas secas y húmedas, es decir, la ZCIT es poco alterable, porque es una respuesta a la diferencia de presiones entre latitudes y al movimiento aparente del Sol, fenómenos físicos inevitables.

Los resultados obtenidos muestran que, en la zona de estudio, la temperatura superficial de la región 3.4 sobre el Océano Pacífico modela en gran medida la variabilidad interanual de las lluvias; sin embargo, su efecto es mayor sobre el número de días

con lluvia que sobre el acumulado anual de precipitación. Además, se encontró evidencia de un ciclo de 16 años, reportado por otros autores, que modula el efecto de ENOS sobre la lluvia, razón por la cual hay épocas en que las fases negativas y positivas del evento, aun con la misma intensidad, no tienen el mismo efecto sobre la cantidad y el número de días con precipitación.

No hay evidencia de que haya tendencias significativas en los valores anuales de precipitación, es decir, no hay un cambio significativo en los valores pluviométricos anuales. Así mismo, no hay cambios significativos en el comportamiento intra-anual de las lluvias.

En resumen, si se quisiera valorar el riesgo de que se disminuyan los rendimientos de café por efecto de la lluvia en los próximos años, es más factible y hay menos incertidumbre al generar escenarios ENOS de lluvia que al generar escenarios de cambio de lluvia por efecto del cambio climático.

Tabla 5. Análisis de tendencias de las estaciones analizadas.

Variable	Estación meteorológica	S	P valor	Pendiente		
				Inf95	Media	Sup95
Precipitación	Naranjal	213	0,085	-0,65	6,62	13,99
	Cenicafé	54	0,764	-4,45	0,84	5,60
	El Jazmín	113	0,289	-4,23	4,09	12,25
	Manuel Mejía	-127	0,347	-7,48	-2,50	3,42
	Pueblo Bello	2	0,993	-8,48	0,06	8,66
Número de días con lluvia	Naranjal	-39	0,750	-0,47	-0,09	0,33
	Cenicafé	126	0,480	-0,24	0,10	0,38
	El Jazmín	-65	0,544	-0,67	-0,16	0,37
	Manuel Mejía	-377	0,005*	-1,00	-0,63	-0,21
	Pueblo Bello	-143	0,221	-0,80	-0,31	0,17

*Tendencia significativa con un 99% de confianza.

Tabla 6. Análisis de cambio en la distribución de la lluvia de las estaciones analizadas.

Estación meteorológica	Estadístico	Enero	Abril	Julio	Octubre
Naranjal	D	0,32	0,12	0,28	0,20
	p-valor	0,15	0,99	0,28	0,70
Cenicafé	D	0,28	0,16	0,12	0,28
	p-valor	0,27	0,90	0,99	0,28
El Jazmín	D	0,24	0,16	0,20	0,28
	p-valor	0,47	0,91	0,69	0,28
Manuel Mejía	D	0,28	0,20	0,16	0,36
	p-valor	0,28	0,69	0,90	0,07
Pueblo Bello	D	0,28	0,32	0,16	0,15
	p-valor	0,29	0,15	0,90	0,91

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, A. 1994. Introducción al tratamiento de series temporales. Aplicación a las ciencias de la salud. Diaz de Santos Editores, Madrid, 582 p.
- BOSHELL, J. 2009. Manejo del riesgo climático en la floricultura colombiana. Ceniflores (Colombia). 97p.
- BURROUGHES, W. 1978. On running means and meteorological cycles. Weather 33 (3): 101–109.
- COMET PROGRAM. 2010. Introduction to tropical meteorology, versión 1.3. Chapter 5, Tropical Variability. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR). 123 p.
- CORREA, E. 2000. Series de tiempo. Conceptos básicos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 311 p.
- COSTA, C., BARBOSA, J., RAMANA, T., ALENCAR, H. 2009. Tendencias dos índices de precipitação no estado do Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia 24 (1): 39-47.
- DOMONKOS, P., TAR, K. 2003. Long-term changes in observed temperature and precipitation series 1901–1998 from Hungary and their relations to larger scale changes. Theory. Applied. Climatology. 75, 131–147.
- FIGUEROA, A., ZAMBRANO, L. 2001. Recursos vegetales. En: Barona, G. & Gnecco, C. Historia Geografía y Cultura del Cauca: Territorios posibles. Popayán, Universidad del Cauca. p. 183 – 199.

9. FISCHER, G., SHAH, M., VAN VELTHUIZEN, H. 2002. Climate Change and Agricultural Vulnerability. IIASA, Johannesburgo. 152 p.
10. GUZMÁN, O., BALDIÓN, V. 1999. Influencia del evento frío del Pacífico en la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 50 (3): 222-237.
11. HAMED, K. H. 2008. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology* 349: 350-363.
12. HIPEL, K., MCLEOD, A. 2005. Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems. En: <http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim/1994Book/1994-Time-chapter%2023.pdf>; 2010-05-12.
13. IDEAM. 2009. Evidencias del cambio climático en Colombia. Memorias del Taller Nacional: Definición de herramientas para enfrentar el cambio climático en el sector agropecuario. Bogotá, Noviembre de 2009. 24 p.
14. IPCC. 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
15. LANDSCHEIDT, T. 1983. Solar oscillations, sunspot cycles, and climatic change. En: McCormac, B. (Ed): *Weather and climate responses to solar variations*. Boulder, Associated University Press, 293-308.
16. LANDSCHEIDT, T. 2001. Trends in Pacific Decadal Oscillation subjected to solar forcing. En: Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity. <http://www.john-daly/theodor/pdotrend.htm>
17. LANDSCHEIDT, T. 2005. Long-Range Forecast of United States drought based on Solar Activity. En: Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity. <http://www.john-daly.com/solar/US-drought.htm>
18. LEÓN, G., ZEA, J., ESLAVA, J. 2000. Circulación general del trópico y la zona de confluencia intertropical en Colombia. *Meteorología Colombiana* 1: 31-38.
19. LEWIS, P. 1960. The use of moving averages in the analysis of time series. *Weather* 15 (4): 121-126.
20. LÓPEZ, J., VICENTE, S., GIMENO, L., NIETO, R. 2009. Stability of the seasonal distribution of precipitation in the Mediterranean region: Observations since 1950 and projections for the 21st century. *Geophysical Research Letters* 36 L10703, doi:10.1029/2009GL037956
21. MESA, O., POVEDA, G., CARVAJAL, F. 1997. Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín: pp 33 – 60.
22. MILESI, F., LÓPEZ, J. 2005. El concepto de nicho en ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral* 15 (2): 131-148.
23. MOLINA, A., BERNAL, N., PABÓN, J., MARTÍNEZ, J., VEGA, E. 2000. Reducción de escala estadístico aplicado a datos del CCM3 para generar datos de temperatura del aire en superficie. *Meteorología Colombiana*, 2: 67-72.
24. Onoz, B., Bayazit, M. 2003. The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Science.*, 27: 247-251.
25. PEÑA, D. 1982. Algunas características de la precipitación en Palmira. *Revista Turrialba* 32 (3): 219-228.
26. PEÑA, A., ARCE, B., AYARZA, M., LASCANO, C. 2010. Simulación de los requerimientos hídricos de pasturas en un escenario de cambios climáticos generados con análisis espectral singular. *Acta Agronómica* 59 (1): 1-8.
27. PEÑA, A., CORTÉS, E., MONTEALEGRE, F. 2001. Incidencia de los fenómenos El Niño y La Niña sobre las condiciones climáticas en el valle del río Cauca. Parte I: Análisis climatológico. *Meteorología Colombiana* 3: 103-118.
28. PRYOR, S., SCHOOF, J. 2008. Changes in the seasonality of precipitation over the contiguous USA. *Journal of Geophysical Research*, 113, D21108, doi:10.1029/2008JD010251.
29. RAMIREZ, V., JARAMILLO, A. 2009. Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia en la región andina central de Colombia. *Cenicafé* 60 (2): 161-172.
30. RAMIREZ, J., JARVIS, A. 2009. Memorias Taller: definición de herramientas para enfrentar el cambio climático en el sector agropecuario. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. p57-60.

31. SEN, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63:1379-1389
32. Siegel, S., Castellan, J. 1995. *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. Trillas, Mexico: 432 p.
33. Wigley, T., Raper, S. 1990. Climatic change due to solar irradiance changes. *Geophysical Research Letters* 17: 2169-2172.
34. Wilks, D. 2005. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press. 620 p.
35. Yunling, H., Yiping, Z. 2005. Climate Change from 1960 to 2000 in the Lancang River Valley, China. *Mountain Research and Development* 25 (4): 341–348.