

EFFECTO DE LA DESAGREGACIÓN TEMPORAL SOBRE LA COHERENCIA ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA

Paola A. Arias y Germán Poveda

*Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín
pariasg@unalmed.edu.co*

Recibido para evaluación: 17 de Junio de 2005 / Aceptación: 25 de Agosto de 2005 / Recibida versión final: 29 de Agosto de 2005.

RESUMEN

Se estudia el efecto de la variación de la escala temporal en el comportamiento de la precipitación en Colombia, mediante análisis de Funciones Ortogonales Empíricas (FOE) y de Transformada en Onditas, usando registros en tres escalas temporales: (i) mensuales durante el período Diciembre de 1976- Febrero de 1996, en 41 estaciones de medición, (ii) diarios durante el período Noviembre 1982-Enero de 1992, en 28 estaciones, y (iii) diarios filtrados en la banda intraestacional 20-110 días, durante el período comprendido entre Noviembre 26 de 1982 y Enero 1 de 1992, en 28 estaciones. Los resultados para (i) muestran que la primera FOE explica el 90% de la varianza, lo que está asociado con la periodicidad anual y semi-anual de la oscilación meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La transformada en ondita de las primeras cuatro Componentes Principales (CP) muestran bandas espectrales significativas de 4 a 8 y 8 a 16 meses, cuya importancia relativa varía con el tiempo. Los resultados de (ii) muestran que la primera FOE explica el 28.4% de la varianza, y la segunda el 6.7%, requiriéndose 15 FOEs para explicar el 70% de la varianza total. El espectro en ondita muestra una banda significativa de 120-25 días, asociada con el ciclo semi-anual, además de una banda de 8-64 días, que corresponde a la variabilidad intra-anual asociada con las ondas del este y la oscilación de 30-60 días (oscilación de Madden-Julian). Los resultados para (iii) indican que las tres primeras FOEs explican el 9.4%, 8.4% y 8.1% de la varianza, respectivamente, requiriéndose 15 FOEs para explicar el 70% de la varianza total. El espectro de potencias en ondita muestra bandas espectrales intermitentes significativas en el rango entre 2 y 120 días. Estos resultados evidencian la pérdida de estructura (coherencia espacial y regional) a medida que se disminuye la escala temporal de la precipitación en los Andes de Colombia.

PALABRAS CLAVES: Precipitación, Andes Tropicales de Colombia, Funciones Ortogonales Empíricas, Coherencia Espacial y Regional.

ABSTRACT

The space-time variability of rainfall in Colombia is studied through Empirical Orthogonal Functions and the Wavelet transform, using records of raingauges located on the tropical Andes, at three separated timescales: (i) monthly records for the period December 1976- February 1996, in 41 raingauges, (ii) daily records during November 1982-january 1992, in 28 raingauges, and (iii) band-pass filtered 20-110 day daily records, during November 1982- January 1992, in 28 raingauges. Results for (i) show that the first FOE explains 90% of the variance, associated with annual and semi-annual periodicities resulting from the meridional oscillation of the Intertropical Coverage Zone (ITCZ). The wavelet transform of the first four Principal Components (PC) exhibit significant variance at 4-8 month and 8-16 months, whose relative importance varies with time. Results for (ii) show that the first EOF explains 28.4% of the variance, and the second one explains 6.7%, requiring 15 EOFs to explain 70% of the total variance. The wavelet spectra indicate a significant 120-250 day significant spectral band, associated with the semi-annual cycle, but also at 8-64 day, corresponding to the intra-seasonal variability associated with easterly waves and 30-60 day oscillations (Madden-Julian). Results for (iii) indicate that the first three EOFs explain 9.4%, 8.4%, and 8.1% of the variance, respectively, requiring 15 EOFs to explain 70% of the total variance. The wavelet spectra exhibit intermittent significant spectral bands in the range between 2 and 120 days. Our results evidence the loss of structure (spatial and regional coherence) at diminishing timescales for rainfall on the Andes of Colombia.

KEY WORDS: Rainfall, Tropical Andes of Colombia, Orthogonal Empirical Functions, Spatial and Regional Coherence.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de funciones ortogonales empíricas (FOE) y el análisis de componentes principales (PCA, por sus iniciales en inglés) hacen parte de las técnicas estadísticas estándar más empleadas en meteorología y oceanografía. Estas técnicas permiten representar la variabilidad espacial y temporal de las variables climáticas, así como el número de modos empíricos asociados con la variabilidad espacio-temporal de campos aleatorios. Debido a que la mayor parte de la varianza en los datos puede ser capturada por una pequeña cantidad de modos, la descomposición puede ser útil en la interpretación de la variabilidad de los datos (Preissendorfer, 1988; Peixoto y Oort, 1992).

Cada modo empírico está formado por un patrón espacial y por una serie de tiempo, ambos derivados de los valores y vectores propios de la matriz de covarianza (o de correlación). Cada una de estas funciones explica un cierto porcentaje de la variabilidad de la evolución temporal del campo espacial de los datos y, debido a su ortogonalidad tanto en el espacio como en el tiempo, la varianza explicada por cada FOE es independiente de la explicada por las demás.

Las componentes principales (CP) son los coeficientes de la expansión de los vectores propios en términos de obtener los datos originales, por lo que éstos tienen las dimensiones de la matriz original de observaciones y son mutuamente no correlacionados.

En este artículo se estudia el efecto de la variación de la escala temporal en el comportamiento de la coherencia de la estructura espacial de la precipitación en Colombia, mediante análisis de Funciones Ortogonales Empíricas (FOE) y de Transformada en Onditas, usando registros en tres escalas temporales: (i) mensuales durante el período Diciembre de 1976- Febrero de 1996, en 41 estaciones de medición, (ii) diarios durante el período Noviembre 1982-Enero de 1992, en 28 estaciones, y (iii) diarios filtrados en la banda intraestacional 20-110 días, durante el período comprendido entre Noviembre 26 de 1982 y Enero 1 de 1992, en 28 estaciones.

En la sección 2 se describe la información y metodología empleada, en la sección 3 se discuten los resultados obtenidos y, finalmente, en la sección 4 se presentan las principales conclusiones.

2. INFORMACIÓN EMPLEADA Y METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se consideraron 51 estaciones de registro de intensidad de precipitación horaria ubicadas en las regiones cafeteras de Colombia. Los registros fueron suministrados por CENICAFÉ (Centro Nacional de Investigaciones del Café) y por EPM (Empresas Públicas de Medellín) y procesados por el equipo de investigación del ciclo diurno de la lluvia en Colombia (ver sección de Agradecimientos). Las generalidades de estas estaciones de registro se muestran en la Tabla 1 y corresponden a las mismas empleadas por Poveda et al. (2005a).

TABLA 1. Descripción de las 51 estaciones de precipitación horaria en Colombia suministradas por CENICAFÉ y EPM.

Número	Estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m)	Período de Registro	Datos Faltantes (%)	Elevación sobre el piso del valle (m)
1	Sireno	06°23'	75°40'	1210	Mar78-Abr99	0	*
2	Santa Bárbara	06°24'	75°43'	2595	Mar78-Dic99	0	*
3	Mandé	06°27'	75°08'	495	May78-Abr99	0	*
4	Manuel Mejía	02°25'	76°45'	1700	Ene72-Dic99	2.1	*
5	El Sauce	01°37'	77°06'	1610	Ene71-Dic99	12.4	*
6	Ospina Pérez	01°15'	77°29'	1700	Ene72-Dic99	0.7	*
7	Julio Fernández	03°48'	76°32'	1360	Ene72-Dic99	1	480
8	Manuel M. Mallarino	04°13'	76°19'	1380	Ene73-Dic99	2.5	570
9	Santiago Gutierrez	04°43'	76°10'	1550	Ago71-Dic99	5.7	820
10	Alban	04°46'	76°11'	1500	Jun73-Dic99	1.7	780
11	Rafael Escobar	05°28'	75°39'	1320	Oct70-Dic99	0.1	*
12	Miguel Valencia	05°36'	75°12'	1570	Ene71-Dic99	1.9	*
13	Rosario	05°28'	75°40'	1600	Ene71-Dic99	0.9	1086
14	Luker	05°12'	76°28'	1420	Mar70-Dic99	2.7	360

TABLA 1. Continuación. Descripción de las 51 estaciones de precipitación horaria en Colombia suministradas por CENICAFÉ y EPM.

Número	Estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m)	Período de Registro	Datos Faltantes (%)	Elevación sobre el piso del valle (m)
15	Agronomía	05° 03'	75°29'	2150	Ene72-Dic99	1.1	1480
16	Santagueda	05°05'	76°15'	1010	Abr72-Dic99	1.2	350
17	Santa Ana	05°01'	75°40'	1250	Ene72-Dic99	2.2	580
18	Cenicafé	05°00'	75°36'	1310	Ene72-Dic99	0.4	630
19	Naranjal	04°59'	75°39'	1400	Ene71-Dic99	0.6	720
20	Santa Helena	04°57'	75°37'	1525	Nov80-Dic99	2.1	840
21	El Jazmín	04°55'	75°38'	1600	Ene72-Dic99	2.1	910
22	Planta Tratamiento	04°48'	75°40'	1450	Mar69-Dic89	4	740
23	La Catalina	04°45'	75°45'	1350	Nov76-Dic99	1	630
24	El Cedral	04°42'	75°32'	2120	Ene73-Dic99	5.8	1420
25	Arturo Gómez	04°40'	75°47'	1320	Ene72-Dic99	1.5	590
26	Bremen	04°40'	75°37'	2040	Mar72-Dic99	1.7	1300
27	Maracay	04°36'	75°46'	1450	Feb82-Dic99	0.6	710
28	El Sena	04°34'	75°39'	1550	Dic71-Dic99	8.8	800
29	La Bella	04°30'	75°40'	1450	Ene72-Dic99	0.4	690
30	Paraguaicito	04°23'	75°44'	1250	Ene72-Dic99	0.5	470
31	La Sirena	04°17'	75°55'	1500	Ene71-Dic99	1	700
32	La Selva	03°40'	76°18'	1800	Ene79-Dic99	3.3	900
33	Jorge Villamil	02°22'	75°33'	1500	Ene72-Dic99	1.1	*
34	El Limón	03°40'	75°35'	990	Ene71-Dic99	7.2	610
35	Chapetón	04°27'	75°16'	1300	Ene71-Abr88	2.2	1010
36	La Trinidad	04°54'	75°03'	1430	Jun72-Dic99	0.6	1190
37	Llanadas	05°05'	75°41'	1020	Ene72-Dic99	10	1220
38	Inmarco	06°17'	72°48'	260	Ago68-Ago92	0	140
39	Bizcocho	06°18'	75°05'	1070	Abr71-Dic99	0	1120
40	Peñol	06°24'	75°51'	1880	Abr60-Feb99	0	1750
41	Aguas Blancas	06°50'	73°29'	920	Ene72-Dic99	8.4	*
42	Bertha	05°53'	73°34'	1700	Ene72-Dic99	5.1	1550
43	Yacopí	05°28'	74°22'	1340	Ene72-Dic99	1.5	*
44	Santa Inés	04°43'	74°28'	1250	Ene72-Dic93	1.9	990
45	Misiones	04°33'	74°25'	1540	Ene77-Dic99	3	1263
46	Granja Tibacuy	04°22'	74°26'	1550	Ene72-Dic99	1.4	1250
47	Luis Bustamante	03°54'	74°34'	1643	Ene72-Dic99	18.9	*
48	La Montaña	03°33'	74°54'	1260	Ene73-Dic99	15.9	*
49	Blonay	07°34'	72°37'	1235	Ene72-Dic99	0.7	*
50	Franciso Romero	07°46'	72°40'	1000	Ene72-Dic99	1.1	*
51	Pueblo Bello	10°25'	73°34'	1000	Ene72-Dic99	3.4	*

* La estación no se encuentra localizada en alguno de los valles de los ríos Cauca o Magdalena.

Con el propósito de cuantificar el efecto de la variación de la escala temporal en el comportamiento espacial de la precipitación en Colombia, se realizó un análisis de Funciones Ortogonales Empíricas (FOE, Preissendorfer, 1988) y de Transformada en Onditas (Farge, 1992; Hoyos, 1999), usando registros en tres escalas temporales: (i) mensuales durante el período Diciembre de 1976- Febrero de 1996, en 41 estaciones de registro, (ii) diarios durante el período Noviembre 26 de 1982 - Enero 1 de 1992, en 28 estaciones, y (iii) diarios filtrados

en la banda intraestacional 20-110 días, durante el período comprendido entre Noviembre 26 de 1982 y Enero 1 de 1992, en 28 estaciones. Para ello se consideraron las estaciones de precipitación suministradas por CENICAFÉ y EPM descritas anteriormente.

Al filtrar una señal a la escala temporal intra-anual, es posible observar comportamientos de menor escala que, de otra manera, son enmascarados por fenómenos de mayor escala temporal. La razón por la que se filtraron

las series diarias en una escala temporal entre 20 y 110 días es que el comportamiento de la precipitación en Colombia es típicamente bimodal (en el centro y occidente del país) y unimodal (en el suroriente y norte del país), asociado al paso de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) sobre Colombia (Mesa et al., 1997; Poveda, 2004), y por la actividad de corrientes en chorro de niveles bajos en la atmósfera como el Chorro del Choco (Poveda, 1998) y el CAO (Montoya et al., 2001), por lo que el mayor aporte a la varianza de la precipitación en Colombia es debido a los ciclos anual (mayores que 300 días - 400 días) y semianual (150-200 días).

Para los tres casos se estimaron las FOE y las componentes principales (CP) y se obtuvieron los espectros de potencia en ondita de las primeras cuatro CP.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

El análisis realizado para las 41 estaciones mensuales muestra que la primera FOE (y por tanto, la primera CP) explica cerca del 90% de la varianza total del fenómeno, mientras que la segunda FOE explica el 3%. Las primeras seis FOE explican el 95% de la varianza total. Esto refleja que la primera componente principal explica casi en su totalidad el comportamiento de la precipitación mensual en Colombia, y está asociada principalmente a los ciclos anual y semianual. Este resultado es consistente con resultados obtenidos en otros estudios (Gómez et al, 2003; Mejía et al., 1999; Vélez et al., 2000; Poveda et al., 2005b)

En la Figura 1 se muestran las primeras cuatro FOE del conjunto de estaciones con registros de precipitación mensual. Se observa, en general, que los valores correspondientes a la mayoría de las estaciones son negativos, lo que significa que cuando se presentan anomalías negativas de precipitación en una estación, en las demás estaciones también ocurren anomalías negativas, consistentemente con un patrón espacial altamente coherente.

Los espectros de potencia en ondita estimados para las primeras cuatro CP de los registros mensuales de precipitación muestran una banda espectral significativa alrededor de los 4-8 meses (ciclo semianual), en algunos años, y una banda alrededor de 8-16 meses (ciclo anual) en otros años. Estas bandas espectrales son más notorias en el espectro correspondiente a la primera CP.

Para la segunda y tercera CP se observa una disminución importante en la intensidad (varianza explicada) de tales bandas. El espectro correspondiente a la cuarta CP no muestra ninguna banda espectral. Estos resultados son de esperarse, debido a que, como ya se discutió, la primera CP está relacionada con los ciclos anual y semianual y, además, es la responsable de casi todo el aporte a la varianza de los registros mensuales de precipitación considerados. En la Figura 2 se muestran los espectros estimados para las primeras cuatro CPs.

Con respecto al análisis de las 28 estaciones diarias, sin filtrar, se encontró que la primera CP explica el 28.4% de la varianza, mientras que la segunda PC explica el 6.7% de ésta. Las primeras quince CP explican el 70% de la varianza total. Este resultado indica que se requiere una mayor cantidad de CPs para explicar la variabilidad de la precipitación diaria en Colombia, en comparación con la precipitación mensual. Este resultado es consistente con la naturaleza de la lluvia diaria tropical, donde la posición de la ZCIT juega un papel importante; sin embargo, al reducir la escala temporal, aparecen otros fenómenos que tienen un efecto fuerte en la modulación y el comportamiento de la lluvia en Colombia.

A esta escala temporal, no sólo los fenómenos de gran escala hacen un aporte importante, los fenómenos de menor escala como el desarrollo de sistemas convectivos de meso-escala, las circulaciones locales, la interacción suelo-atmósfera y el papel de la vegetación tienen un marcado efecto en la distribución espacio-temporal de la precipitación diaria en Colombia.

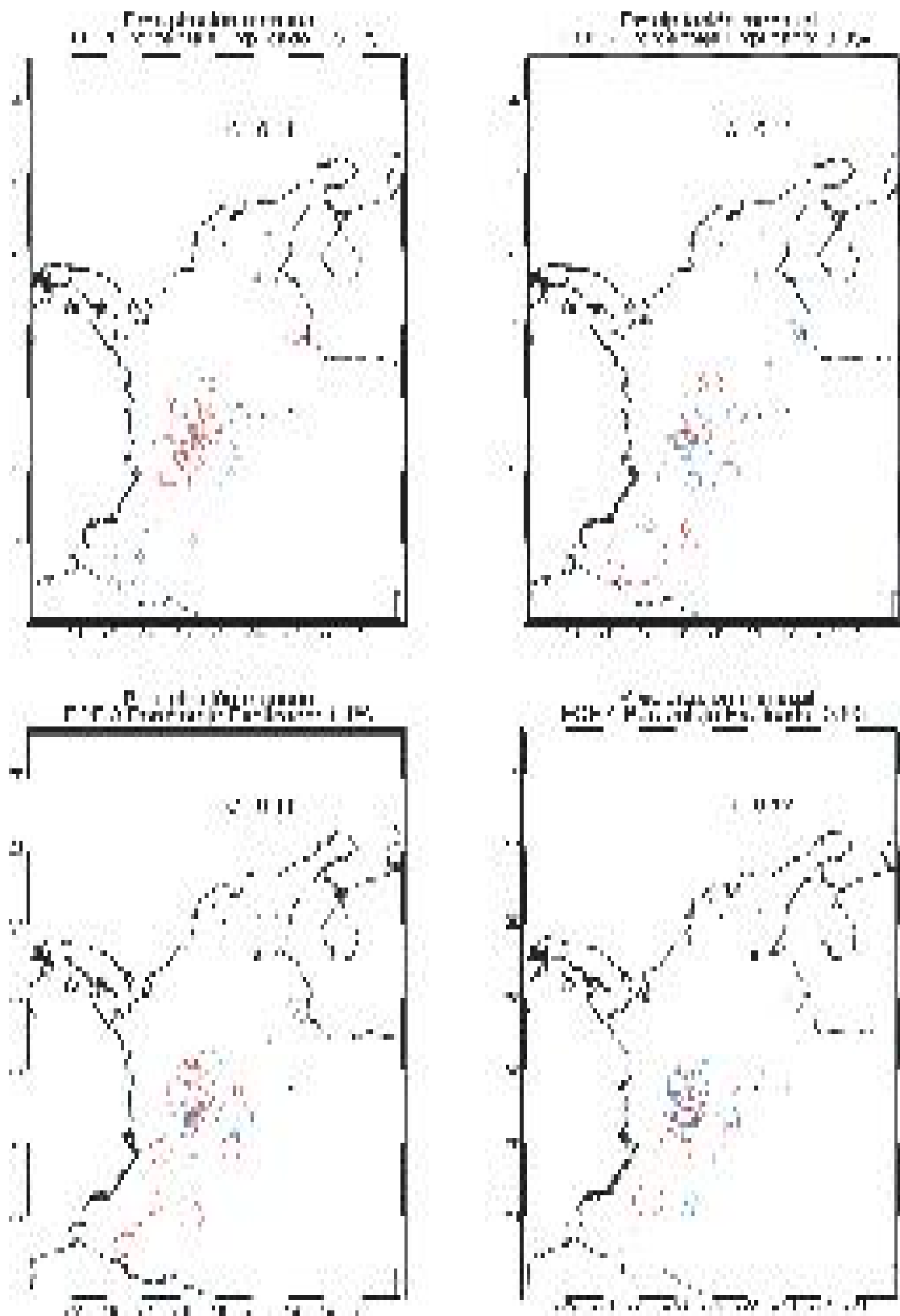


FIGURA 1. Primeras cuatro funciones ortogonales empíricas del conjunto de 41 estaciones de registro de precipitación mensual. En azul se indican los valores positivos y en rojo los negativos.

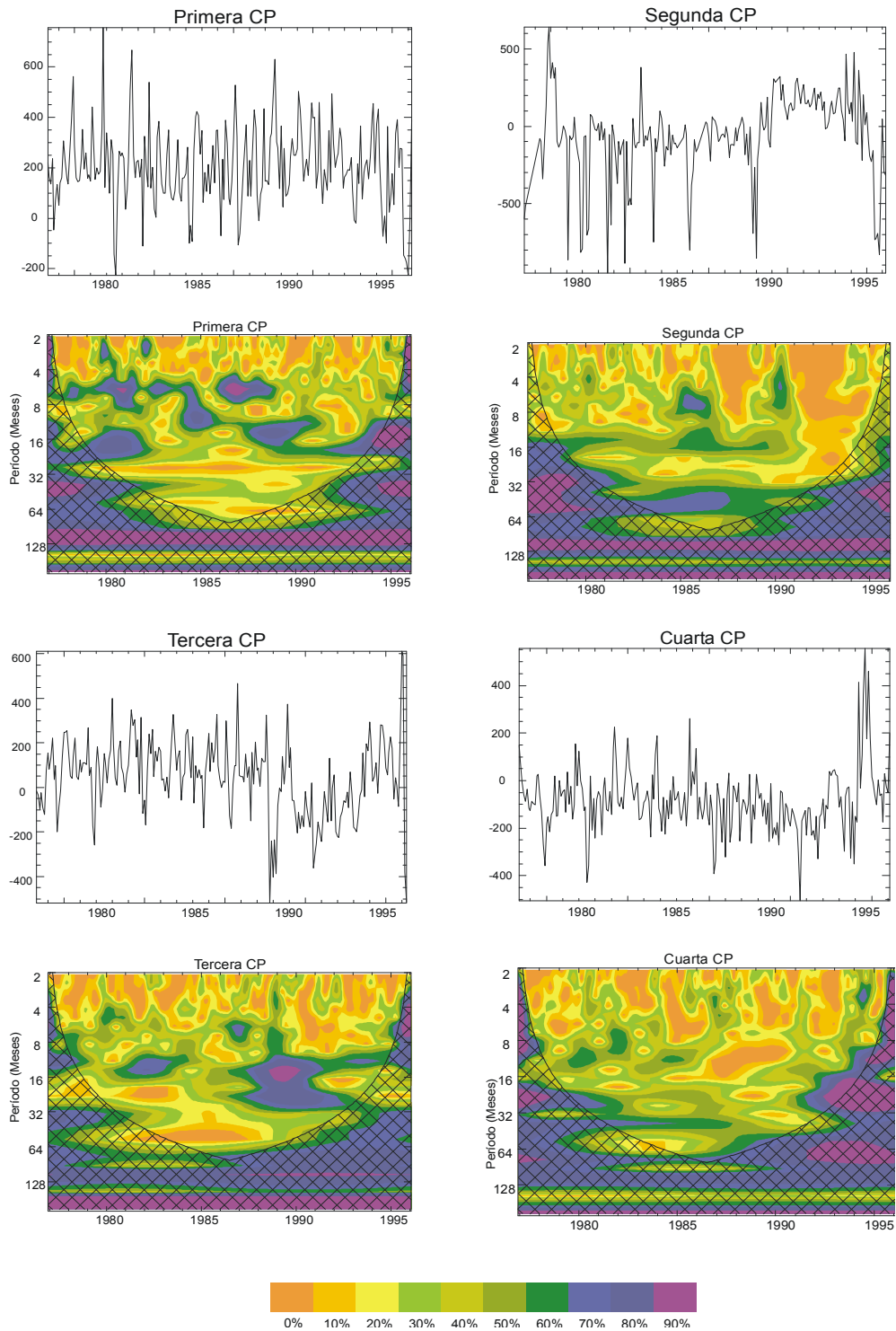


FIGURA 2. Series de tiempo y espectros de potencia en ondita para las primeras cuatro componentes principales de las 41 estaciones de registro de precipitación mensual.

En la Figura 3 se presentan las primeras cuatro FOE correspondientes al campo de 28 estaciones diarias de precipitación, sin filtrar. Los resultados obtenidos para la primera FOE muestran que para la mayoría de las estaciones los valores son negativos, es decir, cuando se

presentan anomalías negativas de precipitación en una estación, en la mayoría de las estaciones restantes también se observa este comportamiento. Aquí también se refleja la coherencia espacial, pero en menor grado que el que se observa a escala mensual. La variabilidad espacial es

muy consistente. Con respecto a la segunda FOE se observa, en general, que para la región cubierta por las estaciones se presentan valores negativos, con excepción de la zona noreste, en donde los valores son positivos. Esto significa que cuando se presentan anomalías de precipitación negativas en la mayor parte de la región,

ocurren anomalías positivas en el noreste. Hay un aparente dipolo en el comportamiento de la precipitación asociado a tal escala temporal. Para la tercera y cuarta FOE se observa que predominan los valores negativos en la mayoría de las estaciones.

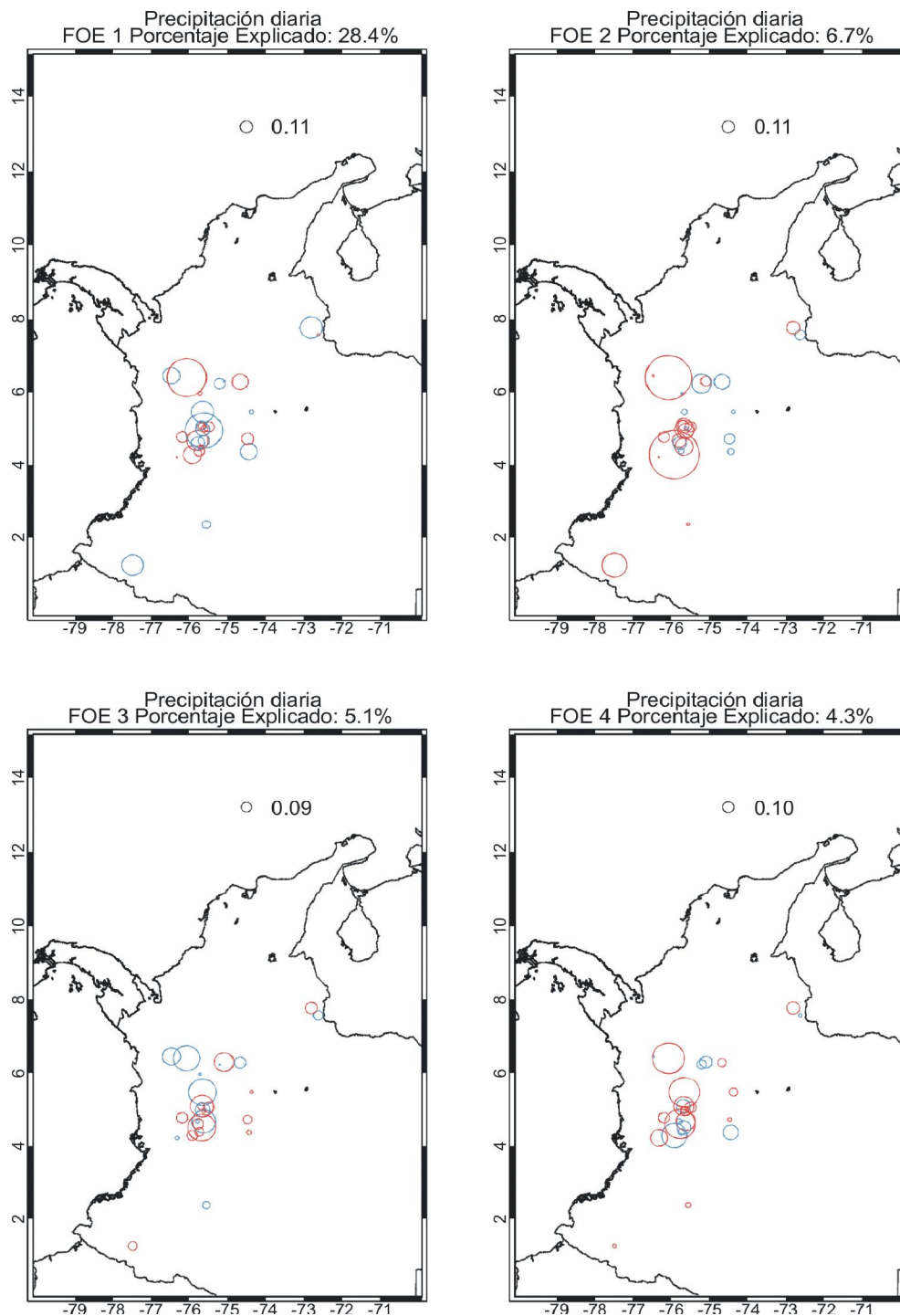


FIGURA 3. Primeras cuatro funciones ortogonales empíricas de las 28 estaciones de registro de precipitación diaria sin filtrar. En azul se indican los valores positivos y en rojo los negativos.

Los espectros en ondita correspondientes a las cuatro primeras CP de los registros diarios no filtrados muestran una banda espectral importante hacia los 120-250 días, la cual corresponde al ciclo semianual. Esta banda espectral se presenta de manera consistente en los cuatro espectros obtenidos. Sin embargo, aunque las bandas espectrales más notorias son la presentadas en la escala semianual, también se observan períodos en los que se presenta un aporte significativo a la varianza a una escala temporal comprendida entre 8 y 64 días (banda intra-anual). Los altos aportes en esta escala temporal se presentan de manera intermitente, a diferencia de la banda semianual, que se presenta de manera continua en todo el período de registro. La presencia de bandas intermitentes en 8-64 días corrobora que el comportamiento de la lluvia diaria en Colombia está afectado por fenómenos de alta frecuencia, y no únicamente por fenómenos de escala anual (como la oscilación de la ZCIT, la dinámica del Chorro del Chocó ó de la corriente CAO ó SALJET) o inter-anual (principalmente asociado con las dos fases del fenómeno ENSO). Los espectros obtenidos se muestran en la Figura 4.

Por último, para las series diarias filtradas en la banda 20-110 días, la primera CP explica sólo el 9.4 % de la varianza, mientras que la segunda y tercera CP explican el 8.4% y el 8.1% de ésta, respectivamente. Las primeras catorce componentes principales explican el 70% de la varianza total de este fenómeno. Esto muestra que el porcentaje explicado por la primera CP de la precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días es mucho menor que el explicado por la primera CP de la precipitación diaria no filtrada.

En la Figura 5 se presentan las primeras cuatro FOE correspondientes al campo de 28 estaciones diarias de precipitación filtradas en la banda intraestacional 20-110 días. De los resultados obtenidos para la primera FOE puede concluirse que, en general, predominan los valores negativos para la mayoría de las estaciones, a excepción de una estación ubicada en el centro de la región, en la que el valor es positivo. Así, cuando en las demás estaciones de registro se presentan anomalías negativas, en esta estación las anomalías son positivas. Para la segunda FOE se observa que este comportamiento se sigue manteniendo, con la diferencia de que la estación en la que las anomalías son positivas cambia. Para esta FOE, la estación que se encuentra en desfase con respecto a las demás es la que se encuentra más al este de la región. Para la tercera FOE se observa que todos los valores son negativos, esto es, todas las estaciones muestran anomalías negativas simultáneamente. Finalmente, para la cuarta FOE se encuentra que cuando hay anomalías positivas en la esquina suroeste de la región, en las demás estaciones las anomalías en la precipitación son negativas.

Dado que las señales diarias de precipitación fueron filtradas en la escala 20-110 días, la presencia de los ciclos anual y semianual fueron removidos, por lo que es posible detectar comportamientos a escalas temporales menores. Esto se ve reflejado en los espectros de potencia en ondita para las cuatro primeras CP de la precipitación diaria filtrada, los cuales muestran bandas espectrales intermitentes a una escala entre 2 y 120 días. Este resultado es de esperarse, ya que el filtro aplicado remueve la presencia de los ciclos de mayor escala, permitiendo detectar señales de mayor frecuencia. Los espectros obtenidos se muestran en la Figura 6.

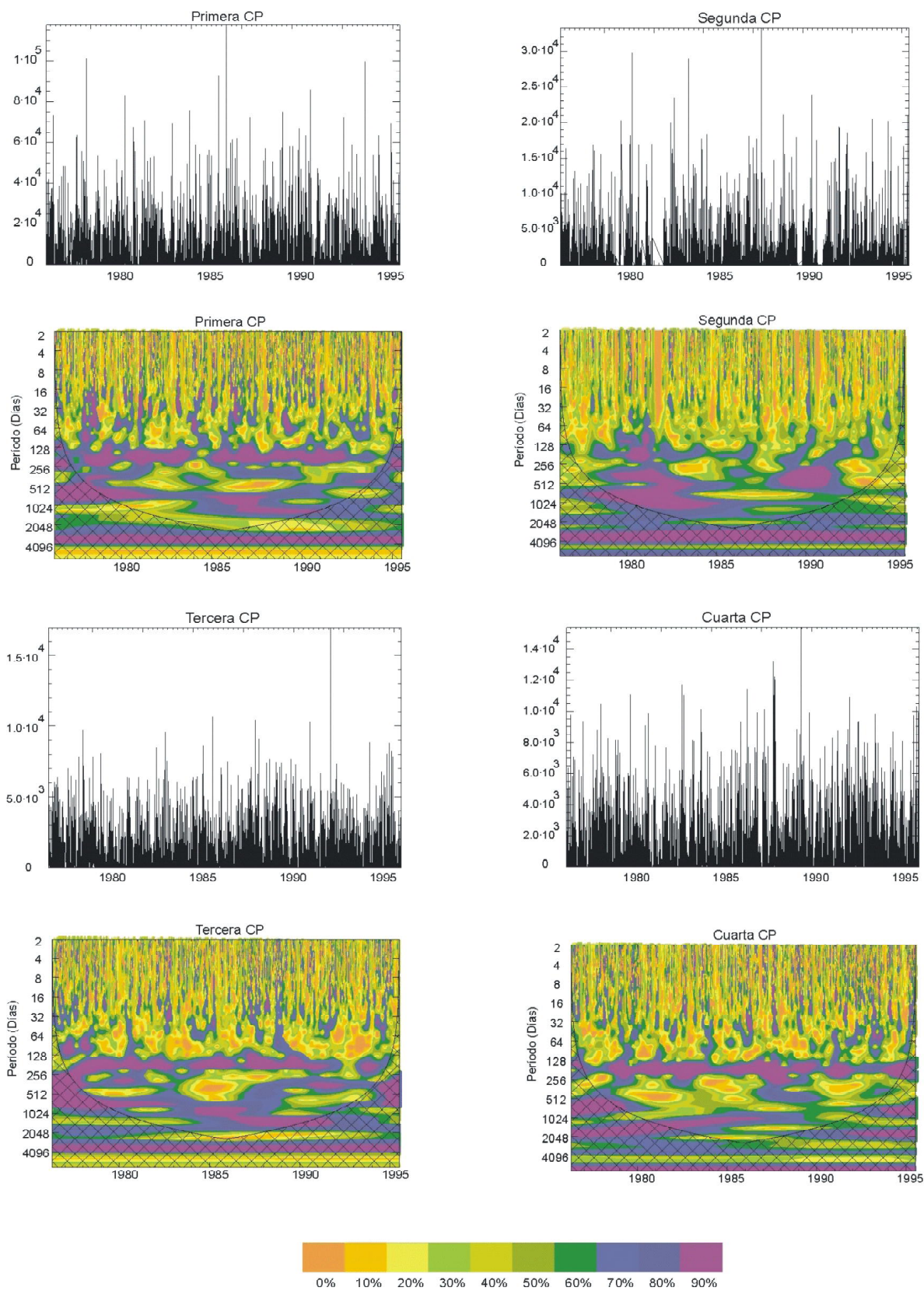
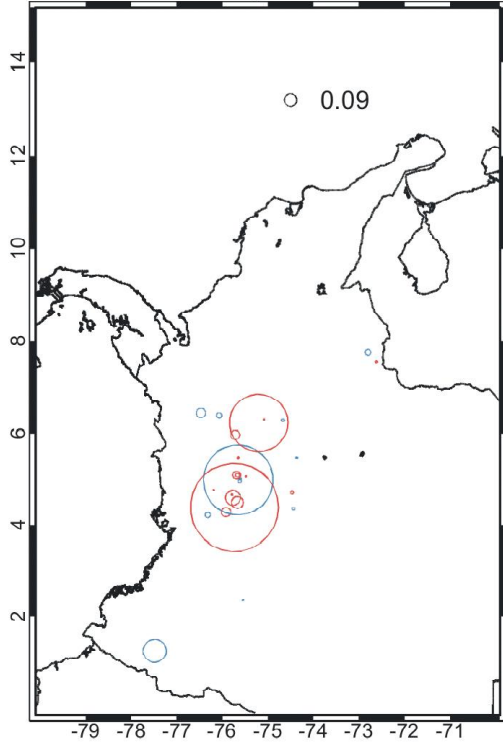
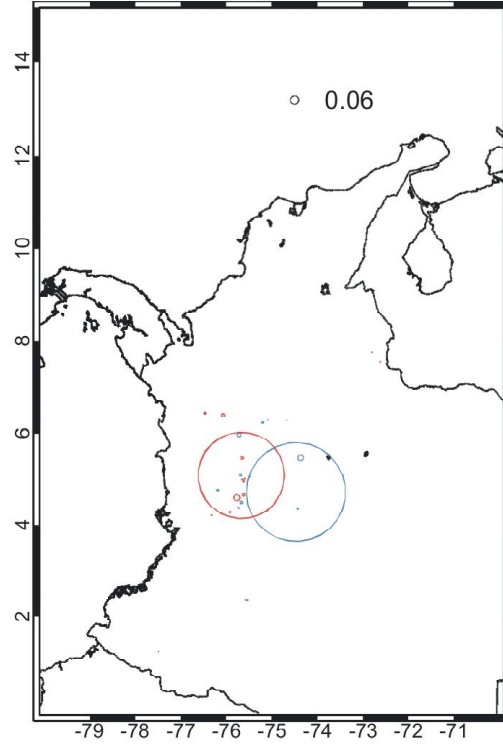


FIGURA 4. Series de tiempo y espectros de potencia en ondita para las primeras cuatro CP de las 28 estaciones de registro de precipitación diaria sin filtrar.

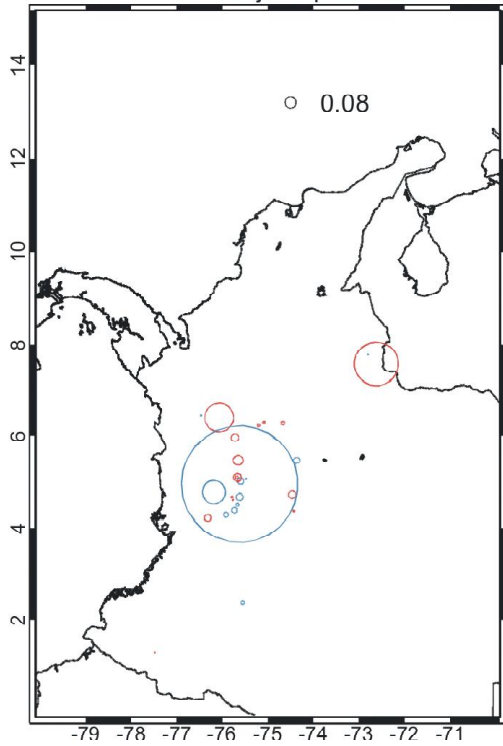
Precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días
FOE 1 Porcentaje Explicado: 9.4%



Precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días
FOE 2 Porcentaje Explicado: 8.3%



Precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días
FOE 3 Porcentaje Explicado: 8.1%



Precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días
FOE 4 Porcentaje Explicado: 6.8%

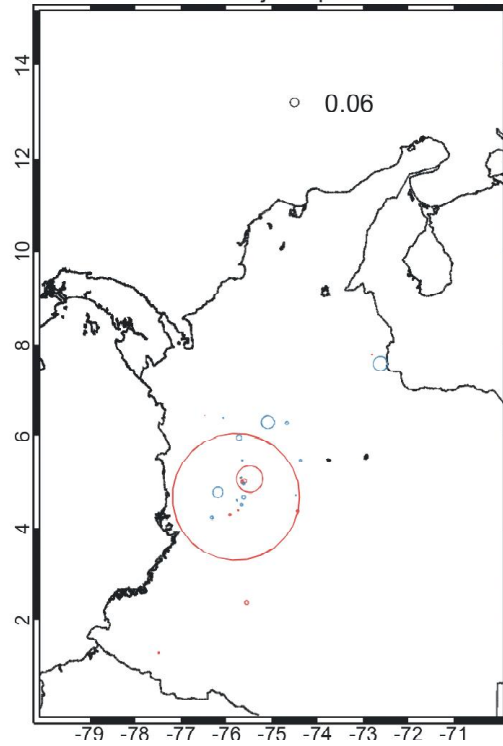


Figura 5. Primeras cuatro funciones ortogonales empíricas de las 28 estaciones de registro de precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días. En azul se indican los valores positivos y en rojo los negativos.

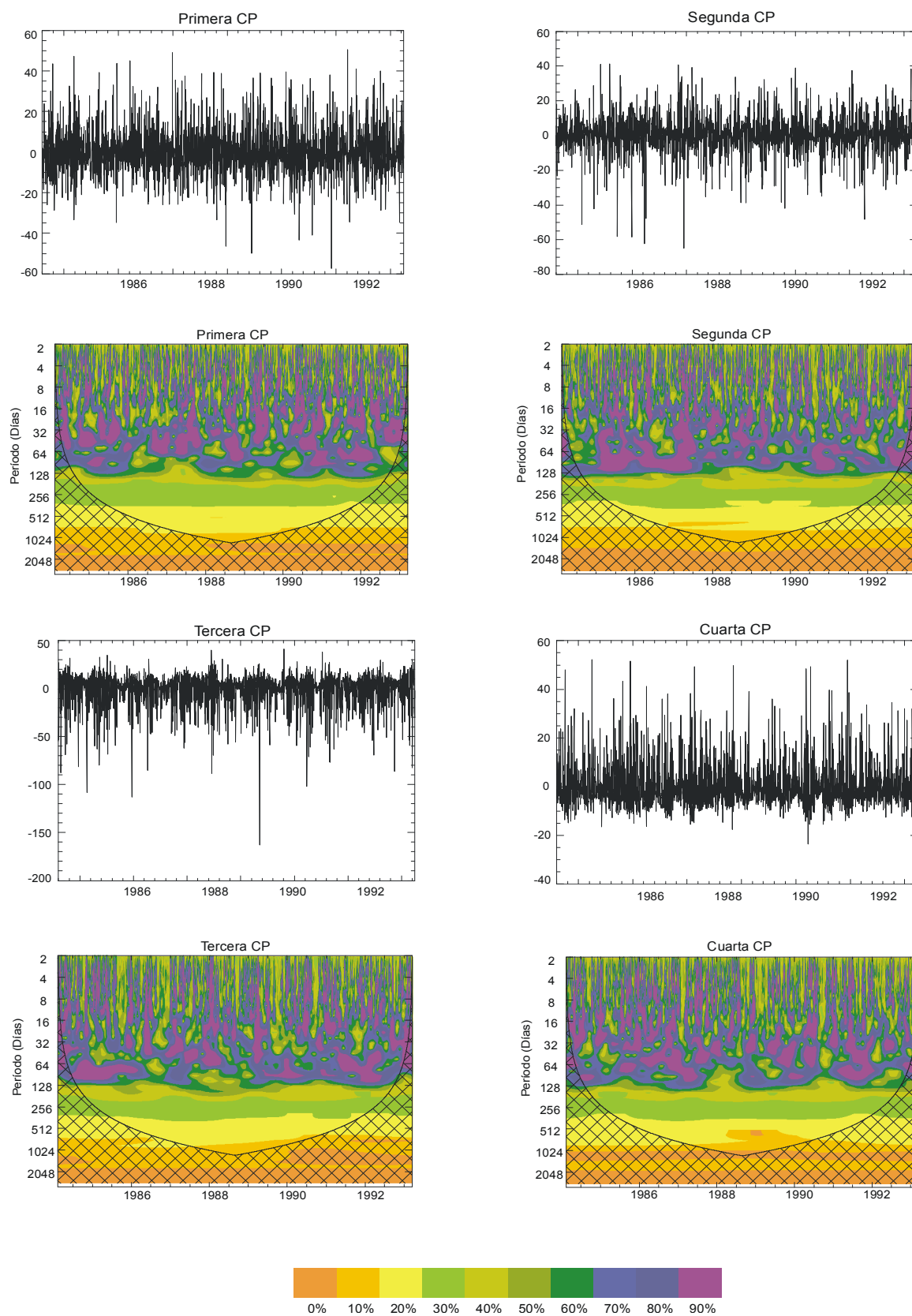


FIGURA 6. Series de tiempo y espectros de potencia en ondita para las primeras cuatro CP de las 28 estaciones de registro de precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días.

Los resultados obtenidos de este análisis evidencian que la variación en la escala temporal afecta de manera clara la coherencia espacial de los patrones de variabilidad de la precipitación en Colombia. A medida que se reduce la escala temporal en el análisis de la precipitación en Colombia, aparecen nuevos factores que aumentan la complejidad del fenómeno: para registros mensuales de precipitación se observa un dominio claro de los ciclo anual y semianual, mientras que para los registros diarios este dominio se ve disminuido por la aparición de fenómenos a una escala intra-anual, la cual domina completamente cuando la variabilidad anual es filtrada. La desagregación temporal destruye la coherencia espacial del campo de precipitación, y por tanto se disminuye cada vez el porcentaje de varianza explicado.

4. CONCLUSIONES

Se efectuó el análisis de funciones ortogonales empíricas (FOE) de la precipitación en Colombia a diferentes escalas temporales: i) mensual, ii) diaria y iii) diaria filtrada en la banda intraestacional 20-110 días. Los resultados obtenidos muestran que al considerar la precipitación a escala mensual, la mayor variabilidad en el comportamiento de esta variable está gobernada por la banda anual y semi-anual, asociadas principalmente a la presencia de la ZCIT y su paso sobre Colombia durante dos períodos del año. Este resultado conlleva a que la primera FOE para el campo de precipitación mensual explique casi la totalidad de su varianza.

Para la precipitación diaria se observa que es necesario retener las primeras quince FOE para explicar el 70% de la varianza. Esto indica que la variabilidad a escala diaria de la precipitación en Colombia es explicada por la presencia de diferentes factores, y no por la presencia de uno solo, como ocurre en la precipitación mensual. Los espectros de potencia para las primeras FOE de este campo muestran la presencia de actividad en las bandas semi-anual (120-250 días) e intraestacional (8-64 días), la cual se presenta de manera intermitente, lo que confirma que a esta escala temporal aparecen nuevos factores que no presentan un efecto discernible a la escala mensual.

Con respecto a la precipitación diaria filtrada en la banda 20-110 días se encuentra que también es necesario retener las primeras catorce FOE para explicar el 70% de la

varianza de este campo. Además, se observa una clara actividad en la banda 30-60 días, ya que los ciclos anual y semi-anual fueron removidos mediante el filtrado.

Los resultados obtenidos de este análisis evidencian que la desagregación temporal de los registros de lluvia destruye la coherencia espacial de los patrones de la variabilidad espacial de la precipitación en Colombia. A medida que se reduce la escala temporal en el análisis de la precipitación en Colombia, aparecen nuevos factores que le introducen complejidad al fenómeno: para registros mensuales de precipitación se presenta un dominio contundente de los ciclo anual y semianual, mientras que para los registros diarios este dominio se ve disminuido por la aparición de fenómenos a una escala intra-anual, la cual domina completamente cuando la variabilidad anual es filtrada.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto “DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN Y PRONÓSTICO DE LA VARIABILIDAD INTRA-ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA”, financiado por COLCIENCIAS. Se agradece la colaboración de Álvaro Jaramillo, Orlando Guzmán y Álvaro Cadena de CENICAFÉ por permitir el acceso a los datos, así como a Empresas Públicas de Medellín. Al equipo de investigación del ciclo diario: H. Moreno, S. Vieira, P. Agudelo, L. F. Salazar, V. Toro y J. F. Álvarez. Se agradecen los comentarios de los evaluadores anónimos.

6. BIBLIOGRAFIA

- Farge, M. 1992. Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 24: pp. 395—457.
- Gomez, L. H., Raspa, G., Poveda, G. y Mesa, O. J. 2003. Quantifying precipitation regimes in Colombia. Sometido a evaluación.
- Hoyos, C. D. 1999. Algunas Aplicaciones de la Transformada de Fourier y la descomposición en Onditas a Señales hidrológicas y Sísmicas. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Mejía, J. F., Mesa, O. J., Poveda, G., Vélez, J. I., Hoyos, C. D., Mantilla, R. I., Barco, O. J., Cuartas, L. A.,

- Montoya, M. I., y Botero, B. A. 1999. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. *DYNA*, 127: pp.7-24.
- Mesa, O. J., Poveda, G. y Carvajal, L. F. 1997. Introducción al Clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín, Colombia.
- Montoya, G. J., Pelkowski, J. y Eslava, J. A. 2001. Sobre los alisios del nordeste y la existencia de una corriente en el piedemonte oriental Andino. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25 (96): pp. 363-370.
- Peixoto, J. y Oort, A. 1992. *Physics of Climate*. American institute of physics, New York, 520 pp.
- Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28 (107): pp. 201-221.
- Poveda, G., Mesa, O. J., Salazar, L., Arias, P., Moreno, H., Vieira, S., Agudelo, P., Toro, V. y Álvarez J. 2005a. The diurnal cycle of precipitation in the Tropical Andes of Colombia. *Monthly Weather Review*, 133: pp. 228-240.
- Poveda, G., Vélez, J. I., Mesa, O. J., Cuartas, A., Barco, J., Mantilla, R., Mejía, J. F., Hoyos, C. D., Ramírez, J. M., Ceballos, L. I., Zuluaga, M. D., Arias, P. A., Botero, B. A., Montoya, M. I., Giraldo J. D. y Quevedo D. I. 2005b. Linking Long-term Water Balances and Statistical Scaling to Estimate River Flows along the Drainage Network of Colombia. Submitted to *Journal of Hydrologic Engineering*.
- Preissendorfer, R. W. 1988. *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*. Elsevier, New York.
- Vélez, J. I., Poveda, G. y Mesa, O. 2000. Balances Hidrológicos de Colombia. Medellín, p.150.