
VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL CHORRO DEL “CHOCÓ” Y SU EFECTO EN LA HIDROCLIMATOLOGÍA DE LA REGIÓN DEL PACÍFICO COLOMBIANO

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE CHOCO JET STREAM AND ITS EFFECT ON THE HYDROCLIMATOLOGY OF THE COLOMBIAN PACIFIC

ÓSCAR A. RUEDA

Maestría en Ingeniería-Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

GERMÁN POVEDA

Profesor Asociado, Posgrado en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
gpoveda@unalmed.edu.co

Rueda, O. & G. Poveda. 2006: Variabilidad espacial y temporal del Chorro del “Chocó” y su efecto en la hidroclimatología de la región del Pacífico colombiano. *Meteorol. Colomb.* **10:** 132-145. ISSN 0124-6984. Bogotá, D. C. - Colombia.

RESUMEN

A partir de los datos de temperatura superficial del mar, humedad específica, velocidad del viento e índices SOI y MEI, presentados por el Proyecto de Reanálisis Climático NCEP/NCAR, se estudió el comportamiento espacial y temporal del “Chocó” (Chorro del Occidente Colombiano). El periodo de estudio está comprendido entre enero de 1948 y diciembre de 2004. Se analizó el ciclo anual de la advección de humedad en el núcleo del chorro en diferentes longitudes. Se determinó la correlación entre el ciclo anual y el gradiente de temperatura entre la región del océano Pacífico denominada Niño 1+2 y una porción de mar del Pacífico colombiano. La variabilidad interanual asociada al fenómeno ENSO en sus diferentes fases (El Niño y La Niña) se analizó correlacionando la serie de tiempo de la advección de humedad del núcleo del chorro y los índices SOI y MEI. Se realizó un análisis de wavelets entre la serie de tiempo de advección de humedad del chorro y varias series de tiempo de caudales y precipitación en la región. Los coeficientes de correlación y los análisis de wavelets indican una influencia del “Chocó” sobre el ciclo anual e interanual de caudales y precipitación en el occidente colombiano. El “Chocó” ejerce una influencia sobre la hidroclimatología de esta zona del país debido a la cantidad de humedad que transporta y a su asociación a diferentes fenómenos climáticos.

Palabras clave: “Chocó”, Pacífico colombiano, advección de humedad, fenómeno ENSO, hidrología.

ABSTRACT

The Chorro del Occidente Colombiano (“Chocó”) is a low level jet that determines the hydroclimatology of the Colombian Pacific region. In this paper, the spatial and temporal variability of the “Chocó” were analyzed. To study this variability, the southern oscillation index (SOI) and multivariate ENSO index (MEI) from the National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) were used. Sea surface temperatures (SST), specific humidity (Shum), and wind speed (WS) data were also utilized. The annual advection cycle of humidity in the core of the “Chocó” was investigated at three different longitudes. A correlation

was established between this advection cycle and the temperature gradient involving two zones of the western tropical Pacific. These zones are the Niño 1+2 and the Colombian Pacific Ocean. The interannual variability of the "Chocó" associated with both El Niño and La Niña phases of ENSO were derived from a correlation coefficient between the jet's core and both the SOI and the MEI. A wavelet analysis was made between the advection cycle and both the precipitation and river flow in the Colombian Pacific region was also studied. The most important outcome of this research is a linkage relating the SST, SOI and MEI with the advection of the "Chocó", indicating a significant coupling of these variables and both the annual and interannual variability of the jet. These results reveal that the hydroclimatology of the Colombian Pacific region is related to the amount of moisture carried by the "Chocó".

Key words: Chocoan jet stream, Colombian Pacific, humidity advection, ENSO, hydrology.

1. INTRODUCCIÓN

El Océano Pacífico influye en la climatología colombiana, especialmente en la del occidente y el centro del país. La costa Pacífica de Colombia es una de las regiones más lluviosas del planeta con precipitaciones sobre tierra entre 8.000 y 13.000 mm promedio anual (Poveda y Mesa, 1999). La explicación de este fenómeno ha sido motivo de investigación con énfasis en la relación entre el océano Pacífico y la climatología e hidrología de Colombia. Poveda (1998) encontró que los vientos transeuatoriales que soplan sobre el océano Pacífico adquieren una trayectoria del oeste hacia el este y penetran al interior de Colombia en forma de una corriente superficial. Este trabajo marcó el inicio del estudio de la corriente de chorros llamada "Chocó" (Poveda, 1998). Esta corriente de chorros presenta un ciclo anual muy fuerte, es imperceptible en los meses de febrero, marzo y abril y se intensifica desde mayo hasta alcanzar un máximo en octubre-noviembre (Poveda y Mesa, 1999).

Poveda y Mesa (2000), a partir de lo publicado por (Stensrud 1996), concluyen que la corriente de chorros "Chocó" cumple con los principales rasgos característicos de las corrientes de chorros de bajo nivel, los cuales son: 1) las máximas velocidades de viento se alcanzan cerca de los 900 y los 1.000 hPa; 2) está asociado con fuertes gradientes de temperatura tierra-océano y por lo tanto con baroclinidad superficial; 3) exhibe considerable esfuerzo vertical y horizontal; 4) se relaciona con la génesis y el desarrollo de fuerte convección profunda; 5) se asocia con un fuerte transporte de humedad; 6) está intervenido por el desarrollo de sistemas convectivos de mesoscala sobre el océano Pacífico que penetran a Colombia e interactúan con la ZCIT; 7) se asocia con el estrecho topográfico que existe en el ramal occidental de los Andes entre 5°N

y 5°30'N, conocido como el paso de Mistrató. Alzate et ál. (2004) estimaron que el transporte promedio anual de humedad por el "Chocó" es del orden de $3.800 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, el cual contribuye a explicar la existencia de una de las zonas más lluviosas del planeta sobre la costa Pacífica de Colombia, y de paso el desarrollo de fuertes procesos erosivos sobre la cordillera Occidental de los Andes colombianos.

En este trabajo se pretende analizar los principales mecanismos que controlan la corriente de chorros del "Chocó" así como la influencia del ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) sobre su ciclo anual e interanual. Además se busca determinar la relación y la influencia del "Chocó" en la hidroclimatología del occidente colombiano. En la sección "Datos y metodología" se presentan los datos utilizados y las metodologías desarrolladas para el análisis. En la sección "Análisis de resultados" se estudian los resultados con respecto al ciclo anual de la advección de humedad, a la variabilidad interanual y a la influencia del chorro sobre hidroclimatología del occidente colombiano. El trabajo concluye con algunas anotaciones y análisis con respecto a lo determinado en las secciones enunciadas.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

A partir de los datos del Proyecto de Reanálisis Climático desarrollado por el National Center for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR), se determina la variabilidad espacial del chorro con base en la medición de la advección de humedad a diferentes latitudes. Los datos presentan una resolución temporal mensual durante el periodo entre enero de 1948 y diciembre de 2004. La advección zonal de humedad se calcula como el producto de la velocidad zonal del viento por la humedad específica del aire e in-

dica el transporte de humedad debido a los vientos. En la Figura 1 se presenta la región de estudio, la región del Pacífico colombiano y la región Niño 1+2, con sus respectivas coordenadas. El promedio mensual para los años de estudio de la advección de humedad se calculó a partir de los datos mensuales de las dos variables. El ciclo anual de advección de humedad se analiza a partir del espectro de onditas, el cual se calculó utilizando el programa Astof (Análisis de Series usando la Transformada en Onditas y la transformada de Fourier) desarrollado para funcionar bajo el paquete de I.D.L (Hoyos, 1999); igualmente se analizan los ciclos anuales de la velocidad del viento y la humedad específica. El ciclo anual del gradiente de temperatura entre la región Niño 1+2 y la región del Pacífico colombiano se analiza en torno a su relación con el ciclo anual del "Chocó".

La influencia del ENSO sobre la variabilidad interanual del chorro se analiza a partir de la correlación y del espectro cruzado en onditas entre las series de tiempo para los índices SOI (South Oscillation Index) y MEI (Multivariate ENSO Index), datos tomados del NCEP/NCAR, y de la serie de tiempo de advección de humedad para el núcleo del chorro. Se utilizan períodos de rezago de 0, 1, 2 y 3 meses con el objetivo de determinar si la influencia de estos fenómenos sobre el comportamiento del chorro es simultánea o no. Usando el espectro cruzado en onditas es posible definir la coherencia en onditas para dos series de tiempo (Hoyos, 1999); esta calcula una cantidad entre 0 y 1 y mide la correlación cruzada entre dos series de tiempo como una función de la frecuencia (Torrence y Compo, 1998). Finalmente se determina la relación entre la advección de humedad y la hidroclimatología de la región a partir de las correlaciones lineales y de coherencia en onditas entre la serie de tiempo de la advección de humedad del núcleo del chorro y algunas series de tiempo de caudales y precipitación en el occidente colombiano. Para evaluar la influencia temporal del "Chocó" sobre la hidroclimatología del Pacífico colombiano se utilizó una correlación cruzada para 6 series de tiempo de precipitación y 4 de caudal provenientes de estaciones de la zona.

La Tabla 1 contiene las estaciones hidroclimatológicas que se utilizaron, su localización geográfica en coordenadas y el tipo de estación. Los datos de precipitación y caudal para cada estación se tomaron de la base de datos del software HidroSIG 3.1 desarrollado por el posgrado

en Aprovechamiento de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

TABLA 1. Estaciones, tipo de estación y localización geográfica.

Estación	Tipo de estación	Coordenadas
Belén (río Atrato)	LG	5,42°N-76,40°W
Peñitas (río San Juan)	LG	4,18°N-77,13°W
Puente Pusmeo (Patía)	LG	1,7°N-77,62°W
Itsmina (San Juan)	LG	5,15°N-76,68°W
La Vuelta (Chocó)	SP	5,27°N-76,32°W
Ándagoya (Chocó)	PM	5,08°N-76,68°W
Bellavista (Chocó)	PM	6,58°N-76,90°W
La Cruz (Nariño)	PM	1,6°N-76,93°W
Aeropuerto El Caraño (Chocó)	PM	5,43°N-76,37°W
Aeropuerto Buenaventura (Valle)	SP	3,51°N-76,58°W

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Ciclo anual de la advección de humedad por el "Chocó"

La corriente de chorro superficial del Chocó presenta un claro ciclo anual con una intensidad que aumenta en los dos últimos trimestres del año y es mayor para el trimestre septiembre-octubre-noviembre. Poveda (1998) examinó el gradiente de temperaturas entre tres regiones de interés alrededor de la costa Pacífica de Colombia usando datos del Reanálisis Climático NCEP/NCAR. Observó que el gradiente entre la temperatura de una porción de tierra sobre Colombia (2°N-8°N; 75°W-77,5°W) y la temperatura superficial del mar (TSM) de la región Niño 1+2 del océano Pacífico tiene un marcado ciclo anual con un máximo en septiembre y un mínimo en marzo (Figura 2). Estos gradientes coinciden con la mayor y la menor intensidad de la corriente del "Chocó" (Figura 3).

El mayor gradiente de temperatura existente entre tierra y océano en el trimestre septiembre, octubre y noviembre (SON) favorece la circulación desde el océano hacia el continente, dado el correspondiente gradiente de presiones atmosféricas que se presenta entre el océano y la atmósfera (Poveda y Mesa, 1998). Además del gradiente de temperatura, la variabilidad anual se asocia con la

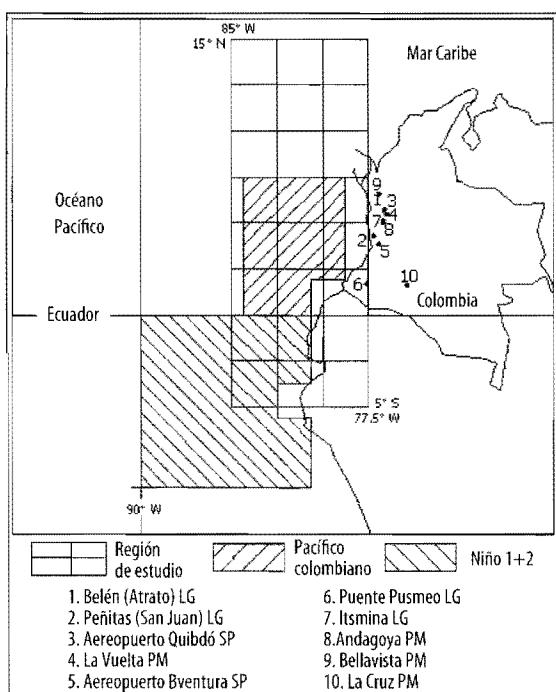


FIGURA 1. Región de estudio, región Pacífico colombiano, región Niño 1+2 y ubicación de las estaciones.

interacción entre el "Chocó" y la corriente de chorro de los 700 hPa proveniente del este (Poveda y Mesa, 1999), las cuales exhiben una correspondencia inversa entre las dos corrientes para los trimestres de máxima y de mínima intensidad. En la Figura 2 se observa que el gradiente de temperatura es mayor en los meses de agosto, septiembre y octubre, en coincidencia con la temporada de mayor intensidad en la advección de humedad por el "Chocó" (Figura 3).

En la Figura 3 se presenta el ciclo anual de la distribución vertical de la advección de humedad por los vientos zonales, en diferentes longitudes: 82,5°W, 80°W y 77,5°W y a diferentes alturas (1.000, 925, 850, 700 y 600 hPa). Se observa la presencia de un marcado ciclo anual en las longitudes determinadas para el estudio, lo que se manifiesta en la cantidad de humedad transportada hacia el continente, con niveles máximos durante el primer semestre del año en los 77,5°W y el máximo valor anual (88,9 $\text{ms}^{-1}\text{grkg}^{-1}$) durante el mes de octubre para los 80°W.

Los ciclos anuales de la advección de humedad por el chorro, la humedad específica y la velocidad del viento se

presentan en las Figuras 4a), 4b) y 4c), respectivamente. En la Figura 4a) se observa que el "Chocó" presenta una evolución de la advección de humedad que aumenta a medida que se acerca a la costa (77,5°W) durante los trimestres DEF y MAM, pero su máximo valor se alcanza en el trimestre SON alrededor de los 80°W. Las Figuras 4b) y 4c) muestran el comportamiento anual de las componentes usadas para calcular la advección de humedad. En la Figura 4c) se observa que las mayores velocidades del viento se presentan a los 80°W a partir del trimestre JJA. La diferencia entre la alternancia de los máximos de la velocidad del viento zonal del núcleo del "Chocó" se explica en parte por el marcado ciclo anual del gradiente de temperatura entre la costa Pacífica colombiana y la región Niño 1+2.

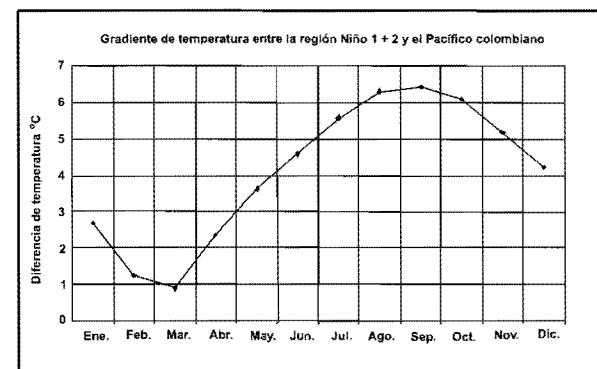


FIGURA 2. Ciclo anual del gradiente de temperatura entre la región Niño 1+2 y la costa Pacífica colombiana.

La figura 5a) presenta el espectro de potencias en ondita calculado para la advección de humedad en el núcleo del "Chocó", la cual corresponde a la serie de tiempo para esta variable localizada en 5°N y 80°W. Se observa la presencia de un periodo importante de 1 año correspondiente al ciclo anual, el cual tiene una fuerte influencia durante todo el periodo. Este marcado ciclo anual explica alrededor del 90% de la varianza de la serie de tiempo. En las Figuras 5a) y 5b) se observa que además del ciclo anual existen algunos períodos importantes como el de 0,5 años asociado al ciclo semianual y el de 4,7 años asociado al ENSO, especialmente durante los períodos 1964 a 1970, 1981 a 1985 y 1990 a 2000.

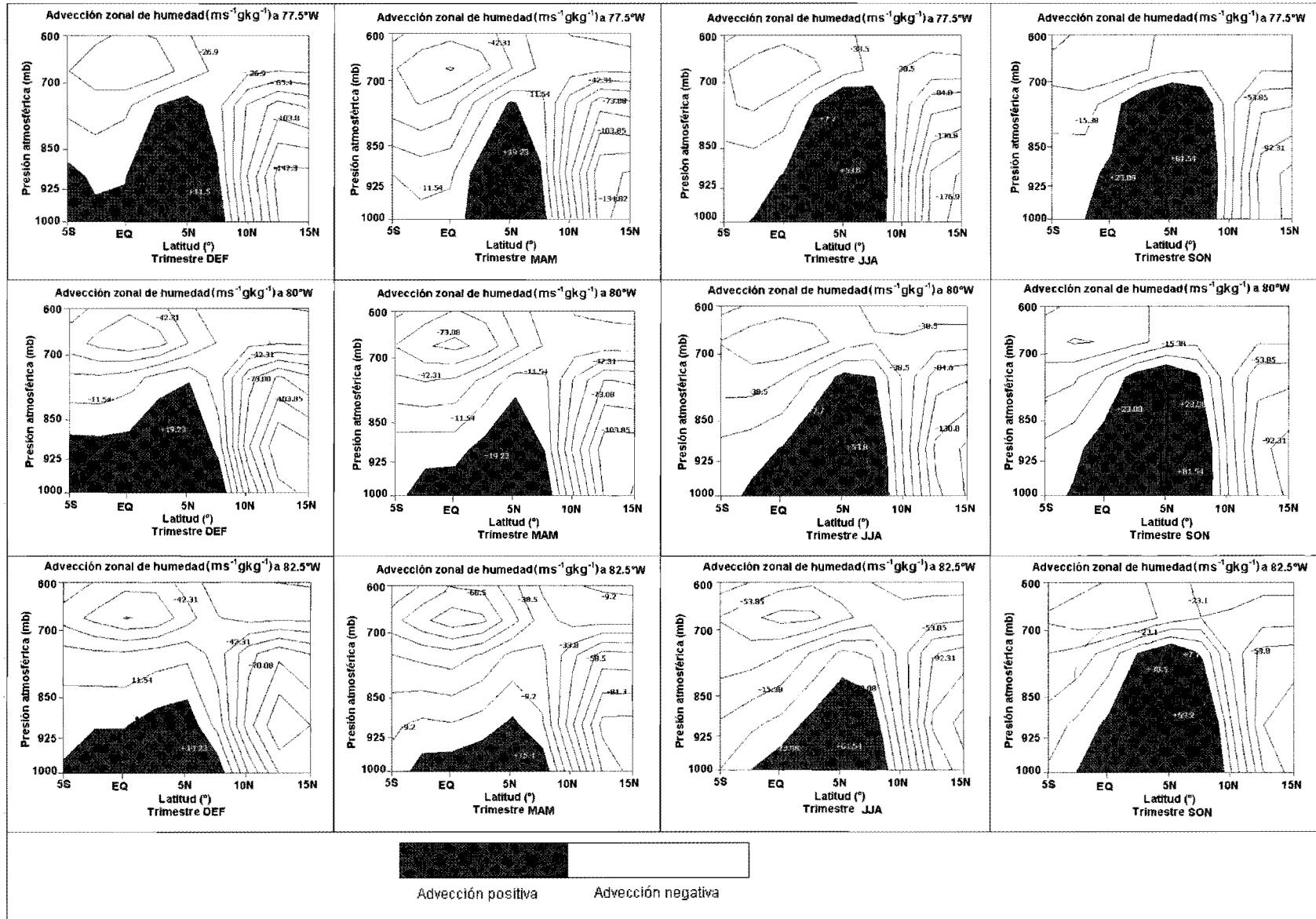


FIGURA 3. Ciclo anual de distribución vertical de la advección de humedad $ms^{-1} gkg^{-1}$, debida a vientos zonales. Longitudes 77,5°W (arriba), 80°W (centro) y 82,5°W (abajo).

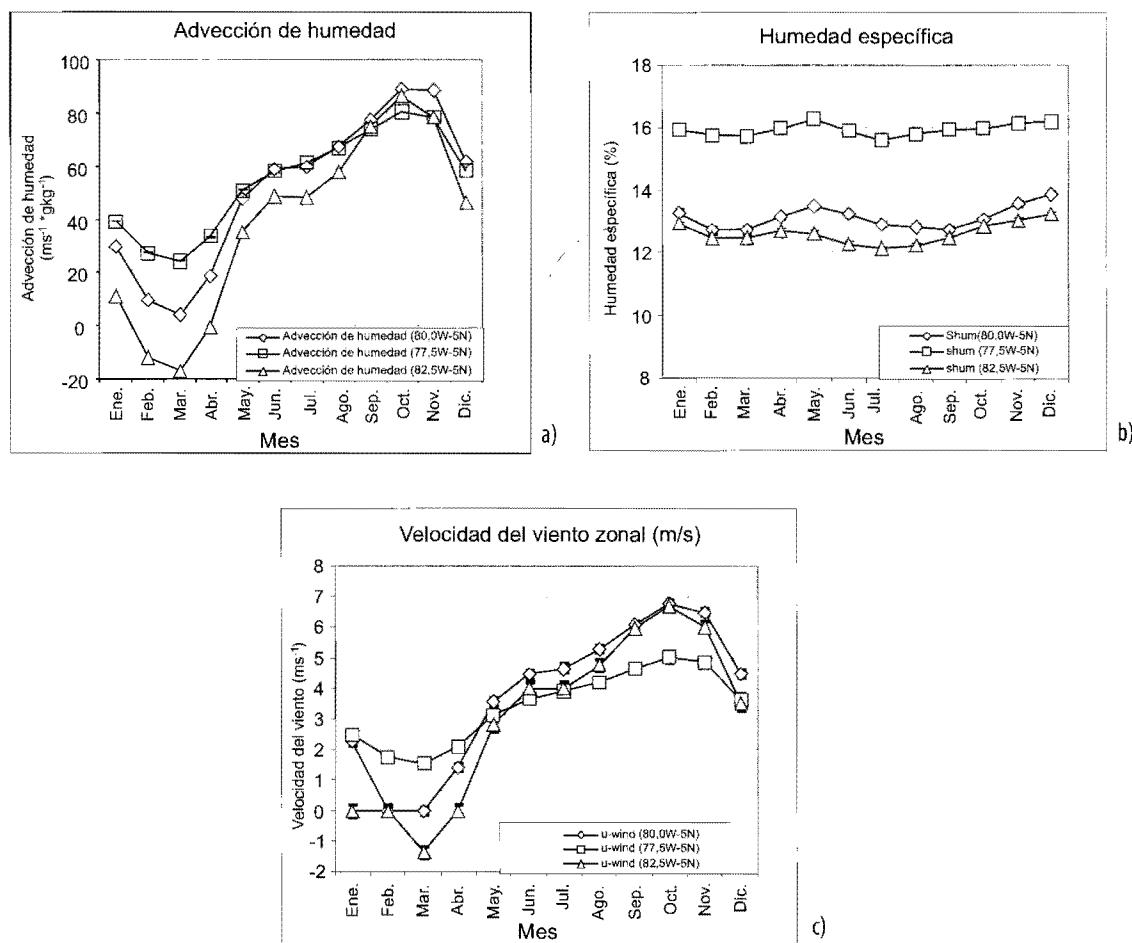


FIGURA 4. a) Ciclo anual de la advección de humedad, b) ciclo anual de la humedad específica y c) ciclo anual de la componente zonal de la velocidad del viento.

La coherencia en onditas para el gradiente de temperatura y la advección de humedad por el chorro (Figura 5c) presenta altos valores (promedio en el tiempo) el ciclo anual (1,0 año) con valor pico de 0,98 durante todo el periodo. El ciclo semianual (0,5 años) muestra un valor de 0,85 en algunos periodos. El fenómeno ENSO (entre los 2,0 y los 4,7 años) exhibe un máximo en la coherencia de 0,85 a partir de 1964. Lo anterior indica la relación existente en el gradiente de temperatura entre el océano Pacífico y la costa Pacífica colombiana.

3.2 Variabilidad interanual asociada al ENSO

La hidrología y la climatología de Colombia están altamente influenciadas por la advección de humedad a cargo del "Chocó" (Poveda, 1998). Esta humedad queda disponible para múltiples procesos, entre ellos para los balances de agua y energía sobre la región y para el desarrollo de la vegetación exuberante del occidente del país (Poveda, 2002); por tanto su variabilidad temporal superficial es importante para entender la climatología colombiana, en particular del centro-oeste del país.

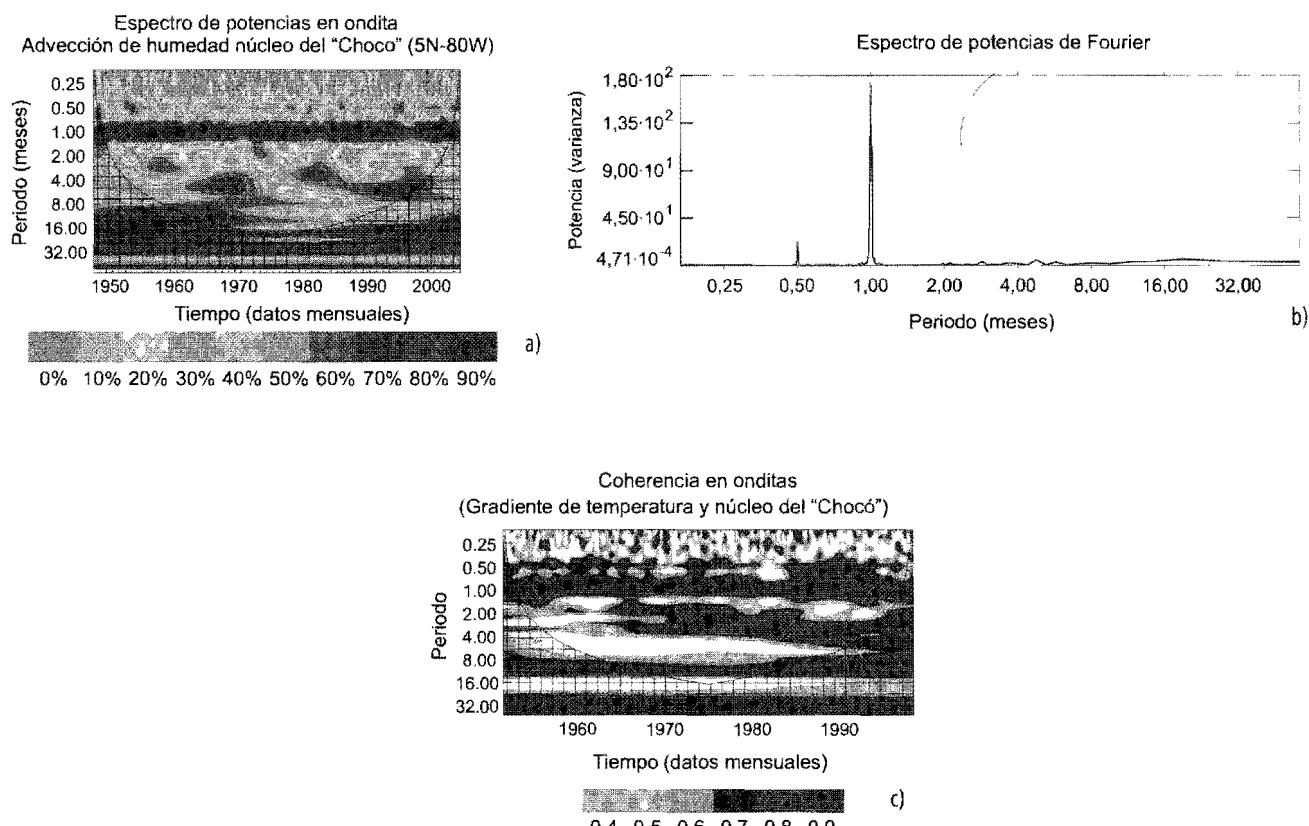


FIGURA 5. Núcleo del Chocó: a) espectro de potencias en ondita, c) espectro de potencias de Fourier.

La variabilidad interanual del chorro está fuertemente influenciada por las fases del fenómeno ENSO. Poveda (1998) indica que el análisis de las diferencias relativas de los vientos zonales a los 80°W durante las fases extremas del ENSO muestran un debilitamiento del "Chocó" en las fases cálidas (El Niño) e intensificación en las fases frías (La Niña); además indica que la ocurrencia del ENSO (fase cálida) se asocia con anomalías negativas de precipitación, humedad del suelo, evapotranspiración y caudales de ríos (Poveda et ál., 2001). La fase fría (La Niña) se asocia, en general, con los efectos contrarios.

En la Tabla 2 se encuentran los coeficientes de correlación lineal entre la serie de tiempo de los valores mensuales de la advección de humedad en el núcleo del chorro con el índice de oscilación del sur (SOI), el índice multivariado

del ENSO (MEI) y el gradiente de temperatura entre la región Niño 1+2 y el Pacífico colombiano, con tiempos de rezago entre 0 y 3 meses. El MEI indica mediante valores negativos la fase fría del ENSO (La Niña) y mediante valores positivos la fase cálida del ENSO (El Niño) (Figura 6). Se observa que las anomalías de la advección de humedad por el "Chorro del Chocó" presentan valores negativos, mientras el MEI tiene valores positivos correspondientes a la fase cálida del ENSO. Analizando el valor absoluto de las dos correlaciones se encuentra que es mayor la del MEI que la del SOI. Los coeficientes de correlación entre la advección de humedad del núcleo del Chorro del Chocó y los índices SOI y MEI muestran que la correspondencia entre estos y el comportamiento del núcleo del chorro es simultánea y que estos coeficientes disminuyen a medida que aumenta el tiempo de rezago.

TABLA 2. Coeficiente de correlación entre advección de humedad del núcleo del chorro del Chocó y SOI, MEI y el gradiente de temperatura entre la región Niño 1+2 y el Pacífico colombiano. Tiempos de rezago de 0 a 3 meses.

Índice	SOI	MEI	$\Delta T (^{\circ}C)$
Rezago 0	0,1553	-0,3118	0,3460
Rezago 1	0,1301	-0,3020	0,3060
Rezago 2	0,1153	-0,2435	0,2820
Rezago 3	0,1389	-0,2057	0,2337

En las Figuras 6a) y 6b) se grafican las series de tiempo de las anomalías para la advección de humedad transportada por viento zonal en el núcleo del chorro del Chocó y los índices SOI y MEI, respectivamente. Los picos mínimos de la serie del chorro corresponden a los años El Niño. La figura muestra que para estos períodos la advección de humedad disminuye a la vez que el SOI presenta estos valores negativos, lo que señala el debilitamiento en la intensidad del chorro del Chocó.

La Figura 7 presenta la coherencia en onditas entre la serie de tiempo de advección de humedad por el chorro del Chocó y el SOI (Figura 7a), el MEI (Figura 7b). Hoyos (1999) indica que la coherencia en onditas identifica las bandas de frecuencias y los intervalos de tiempo en que las series se relacionan; además, dado que la transformada en onditas conserva la varianza, la coherencia en onditas es una representación de la covarianza (normalizada) entre dos series.

La Figura 7a) muestra una alta coherencia en las frecuencias de 0,5 y 1,0 años correspondientes al ciclo semianual y anual, respectivamente; sin embargo, la coherencia más alta (0,7) se presenta en la banda de los 2,0 a los 4,5 años asociada al ENSO. Con respecto a esta última se observa un periodo importante entre 1963 y 1977 y otro a partir de 1988; no obstante, el periodo después de 1998 queda dentro del cono de influencia y por lo tanto no es estadísticamente representativo. En la Figura 7b) la coherencia muestra igualmente valores altos correspondientes al ciclo semianual y al ciclo anual; aunque esta alta coherencia no es continua en el tiempo, su promedio es del orden

de 0,6 para ambas frecuencias. Para la banda entre los 2,0 y los 4,7 años se presenta una alta coherencia durante todo el periodo analizado con un valor máximo de 0,78 en la frecuencia de los 3,1 años y con una coherencia promedio en el tiempo de 0,75. Lo anterior indica la relación entre el ENSO y la variabilidad interanual de la advección de humedad por el chorro.

3.3 El Chorro del Chocó y la relación con la hidrología del Pacífico colombiano

Los resultados permiten concluir que existe una correlación importante entre la advección de humedad por el chorro del Chocó y las diferentes fases del fenómeno ENSO, lo cual influye en la hidrología y la climatología del país y en especial de la región Pacífica.

La correlación entre la serie de tiempo para la advección de humedad y el caudal y precipitación en diferentes estaciones se halló para rezagos de cero, uno, dos y tres meses, con el fin de determinar la relación entre variables en un intervalo de tiempo específico. En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación entre las series de tiempo de la advección de humedad debida al desplazamiento del viento zonal y las series de tiempo para caudales en cuatro estaciones y precipitación en seis estaciones. Además se realizó una correlación cruzada entre la advección de humedad transportada por el núcleo del chorro del Chocó y las series de tiempo de caudal y precipitación para las estaciones (Tablas 4 y 5).

En la Tabla 3 se observa que la correlación mayor se presenta cuando no existe rezago, además a medida que aumenta este la correlación disminuye, lo cual indica que la correspondencia entre estas series de tiempo y la advección de humedad por el chorro es simultánea. Una excepción se presenta con las correlaciones halladas para el caudal en Puente Pusmeo (río Patía) y la precipitación en La Cruz, ambos en el departamento de Nariño, estaciones que se encuentran más alejadas del núcleo del chorro que las demás. Los coeficientes de correlación más altos se presentan para estaciones cercanas al núcleo del chorro y cercanas a la costa, como se presentó en la Figura 1.

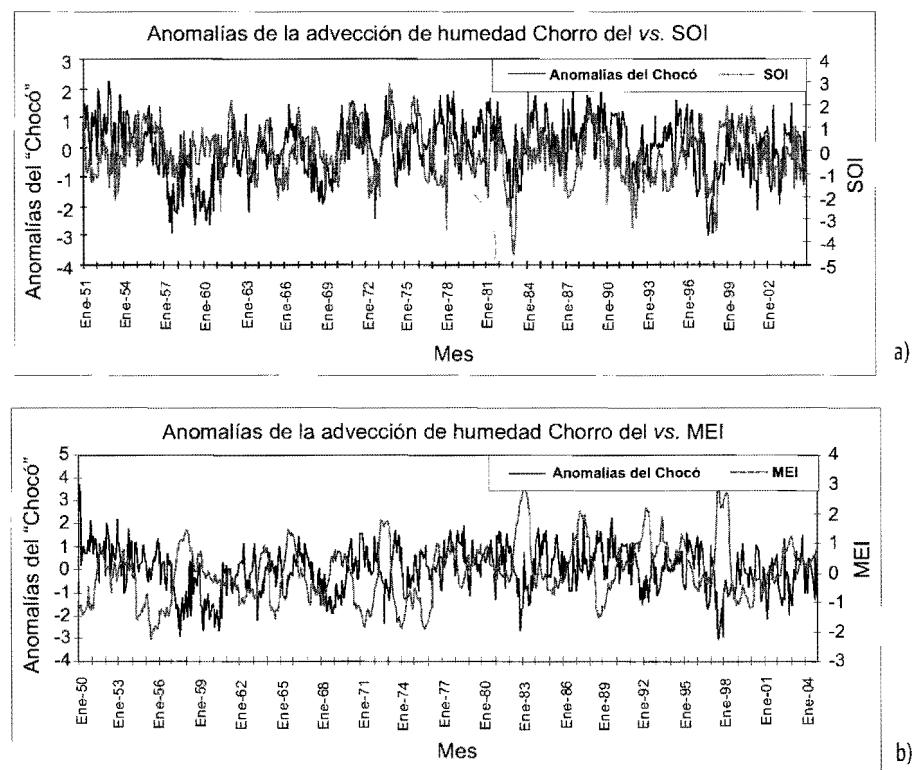


FIGURA 6. Anomalías para la advección de humedad transportada por viento zonal para el núcleo del chorro del Chocó y los índices SOI y MEI.

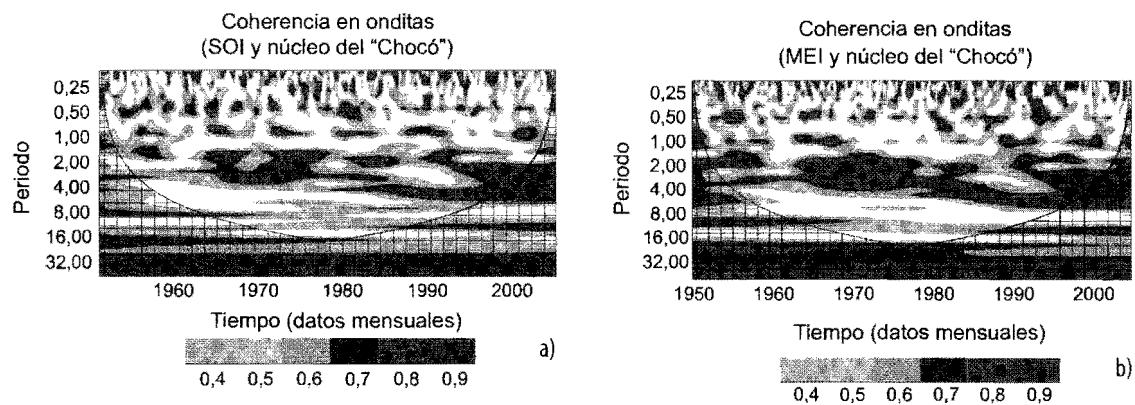


FIGURA 7. Coherencia en onditas para las series de tiempo de advección de humedad por el chorro del Chocó y los índices SOI (a) y MEI (b).

TABLA 3. Coeficiente de correlación entre advección de humedad núcleo del chorro del Chocó y caudales y precipitación en el Pacífico colombiano. Tiempos de rezago de 0 a 3 meses.

Estación	Regazo 0	Regazo 1	Regazo 2	Regazo 3
Belén (río Atrato)	0,598	0,398	0,124	-0,121
Peñitas (río San Juan)	0,674	0,492	0,232	0,048
Puente Pusmeo (Patía)	-0,044	0,105	0,161	0,184
Itsmina (San Juan)	0,513	0,415	0,233	0,121
La Vuelta (Chocó)	0,321	0,168	-0,064	-0,243
Andagoya (Chocó)	0,105	-0,033	-0,128	-0,176
Bellavista (Chocó)	0,318	0,166	-0,035	-0,220
La Cruz (Nariño)	0,012	0,111	0,232	0,365
Aeropuerto El Carao (Chocó)	0,344	0,183	-0,022	-0,202
Aeropuerto Buenaventura (Valle)	0,617	0,382	0,104	-0,097

Los coeficientes de correlación cruzados entre caudal y serie de advección de humedad (Tabla 4) muestran en la cruzada un coeficiente alto, esto indica que existe una influencia inmediata del Chorro del Chocó sobre los caudales de la región. Esta influencia puede permanecer hasta un periodo de rezago de 1 mes, como se observa en los coeficientes de correlación del río San Juan. La correlación calculada para el río Patía representa una influencia no inmediata con coeficientes de correlación positivos para rezagos de uno y dos periodos.

Entre las series de tiempo de advección de humedad del núcleo y las series de tiempo de precipitaciones en diferentes estaciones del Pacífico colombiano (Tabla 5), el comportamiento de los coeficientes de correlación es similar al descrito para los coeficientes de correlación para caudales. Sin embargo, los valores de este son más bajos. En las Tablas 3, 4 y 5 se observa que existe diferencia entre la correlación para caudales y precipitación, y que la correlación es mayor para el primero. Poveda et ál. (2001)

analizaron las correlaciones entre el SOI y las descargas de cinco grandes ríos colombianos y concluyeron que las correlaciones entre el SOI y los caudales de los ríos son mayores que las correlaciones entre el SOI y la precipitación sobre las mismas cuencas. Este resultado se explica en términos del papel que juegan las cuencas de los ríos al filtrar altas frecuencias de precipitación y en términos de los impactos del ENSO en la evapotranspiración y en la variabilidad de la humedad del suelo. En este estudio concluyen que la influencia del ENSO es más fuerte e inmediata para las estaciones localizadas en el occidente colombiano y más débil y retardada para las localizadas en el este del país; estas correlaciones son más altas para las cuencas del Pacífico.

Según el IDEAM, en su página oficial, la fase cálida del ENSO (El Niño) tiene un efecto de disminución de la precipitación y la escorrentía sobre la mayor parte del territorio nacional. Según este instituto, en la parte norte de la costa del Pacífico disminuyen las lluvias mientras que hacia la parte sur aumentan.

En las Figuras 8a) y 8b) se presentan las gráficas de comparación entre la serie de tiempo de los coeficientes de correlación más altos con la serie de la advección de humedad (caudal río San Juan y precipitación en el aeropuerto de Buenaventura, respectivamente). Se observa el comportamiento de cada serie en el tiempo, especialmente en los periodos correspondientes a los años El Niño, representados en la gráfica por los puntos más bajos de la serie de tiempo de advección de humedad. Existe alta correlación entre las dos series de tiempo (Tabla 3); sin embargo, esto no ocurre con todos los análisis, ya que para otras series de tiempo los coeficientes de correlación son menores, con periodos en los cuales la correlación no es positiva. Lo anterior indica que no necesariamente al disminuir la advección de humedad que penetra desde el Pacífico hacia la costa, existe un efecto de disminución de los caudales y de la precipitación en todos los periodos de tiempo.

TABLA 4. Coeficiente de correlación cruzado estacional entre la advección de humedad núcleo del chorro del Chocó y caudales en el Pacífico colombiano.

Advección chorro ($\text{ms}^{-1} \text{gkg}^{-1}$)	Caudales de ríos			
	DEF	MAM	JJA	SON
	Río Patía (Puente Pusmeo, Nariño)			
DEF	-0,232	0,366	0,344	-0,323
MAM	-0,359	-0,232	0,367	0,340
JJA	0,244	-0,359	-0,232	0,364
SON	0,239	0,244	-0,360	-0,228
Río San Juan (Itsmina, Chocó)				
DEF	0,476	0,253	-0,239	-0,297
MAM	-0,244	0,485	0,253	-0,240
JJA	-0,169	-0,226	0,495	0,253
SON	0,245	-0,172	-0,227	0,496
Río Atrato (Belén, Chocó)				
DEF	0,617	-0,031	-0,403	-0,003
MAM	0,108	0,616	-0,035	-0,400
JJA	-0,450	0,106	0,614	-0,026
SON	-0,161	-0,448	0,111	0,613
Río San Juan (Peñitas, Chocó)				
DEF	0,676	0,222	-0,331	-0,161
MAM	-0,065	0,676	0,223	-0,333
JJA	-0,339	-0,067	0,678	0,222
SON	0,074	-0,339	-0,068	0,679

Las Figuras 9a) y 9b) presentan la coherencia en onditas entre la advección de humedad del chorro del Chocó y el caudal y la precipitación en el río San Juan y el aeropuerto de Buenaventura, respectivamente. Las frecuencias más importantes corresponden al ciclo semianual (0,5 años), anual (1,0 año) y al ENSO representada en una frecuencia de 3,0 años; el ciclo anual es la frecuencia donde la coherencia es más alta. Se presenta una diferencia con respecto a la coherencia en la frecuencia asociada al ENSO, con un valor para la precipitación en Buenaventura de 0,68 y para el caudal en Peñitas de 0,90; esto indica la relación entre el fenómeno y el comportamiento de los caudales y la precipitación en la zona.

Es importante anotar que fuera del chorro del Chocó existen otros fenómenos que influyen en el clima del occidente colombiano. Poveda et ál. (2001) indican que existen otros mecanismos físicos que contribuyen a las

anomalías hidroclimatológicas, entre las que se encuentran el retroceso de la celda de Hadley que previene la convección profunda, anomalías positivas de la presión superficial, una disminución de la actividad de las ondas del este y el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical hacia el suroeste de su posición normal. Estos fenómenos no se representan porque se hace el análisis individual de esta corriente de chorro.

TABLA 5. Coeficiente de correlación cruzado estacional entre la advección de humedad núcleo del chorro del Chocó y precipitación en el Pacífico colombiano.

Advección Chorro ($\text{ms}^{-1} \text{gkg}^{-1}$)	Precipitación			
	DEF	MAM	JJA	SON
Estación Andagoya (Itsmina, Chocó)				
DEF	0,032	-0,229	-0,090	0,126
MAM	0,149	0,031	-0,228	-0,088
JJA	-0,085	0,147	0,034	-0,227
SON	-0,253	-0,085	0,147	0,034
Estación Bellavista (Bojayá, Chocó)				
DEF	0,295	-0,232	-0,213	0,221
MAM	0,331	0,300	-0,230	-0,207
JJA	-0,207	0,340	0,309	-0,222
SON	-0,282	-0,206	0,342	0,314
Estación La Cruz (La Cruz, Nariño)				
DEF	-0,084	0,524	0,294	-0,617
MAM	-0,614	-0,095	0,520	0,284
JJA	0,228	-0,627	-0,105	0,514
SON	0,477	0,237	-0,625	-0,096
Estación La Vuelta (Chocó)				
DEF	0,417	-0,294	-0,342	0,238
MAM	0,247	0,419	-0,293	-0,340
JJA	-0,368	0,250	0,423	-0,289
SON	-0,337	-0,368	0,250	0,424
Estación Aeropuerto El Caraño (Quibdó, Chocó)				
DEF	0,362	-0,250	-0,262	0,262
MAM	0,349	0,361	-0,247	-0,255
JJA	-0,261	0,348	0,370	-0,237
SON	-0,271	-0,262	0,349	0,374
Estación Aeropuerto Buenaventura (Buenaventura, Valle)				
DEF	0,703	-0,048	-0,503	-0,010
MAM	0,033	0,703	-0,051	-0,503
JJA	-0,514	0,026	0,701	-0,050
SON	-0,079	-0,516	0,026	0,701

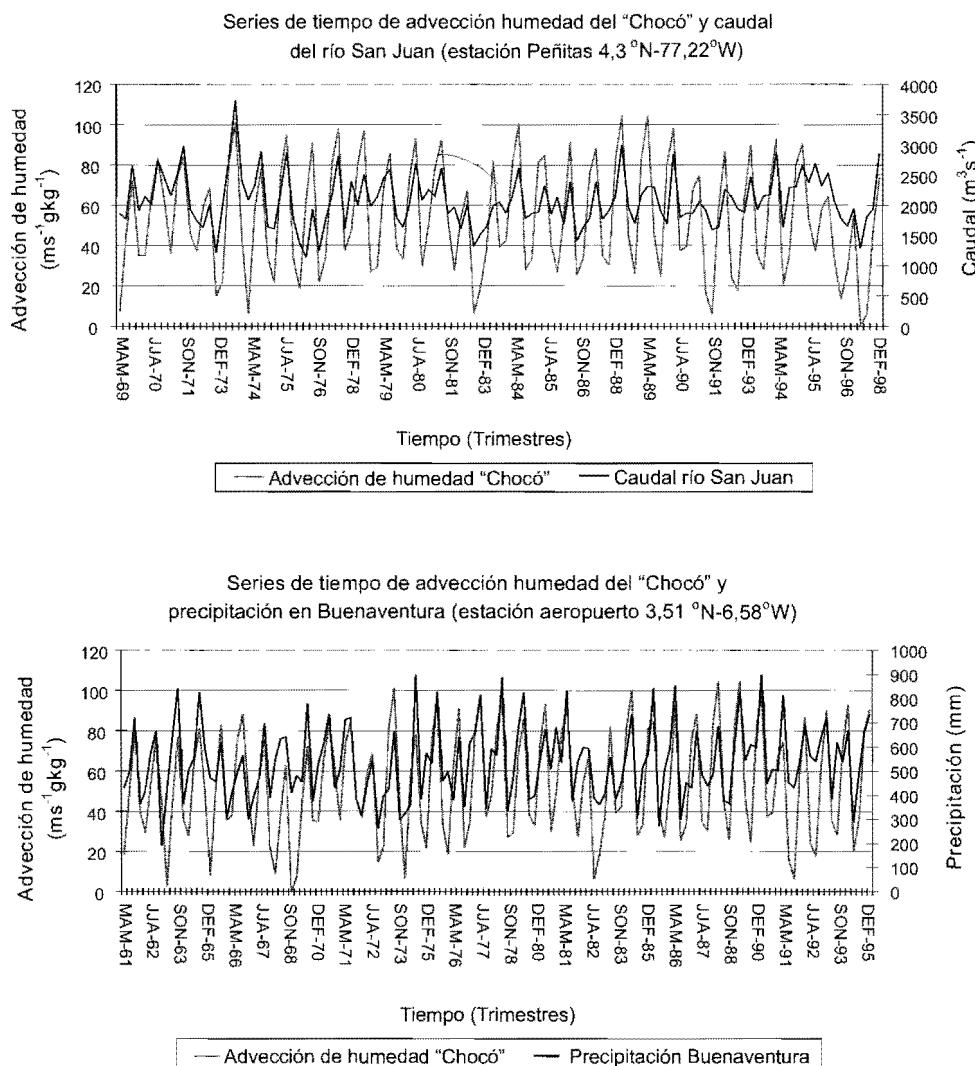


FIGURA 8. Serie de tiempo de la advección de humedad debida al chorro del Chocó y precipitación en Buenaventura. Serie de tiempo de la advección de humedad debida al chorro del Chocó y caudal en el río San Juan.

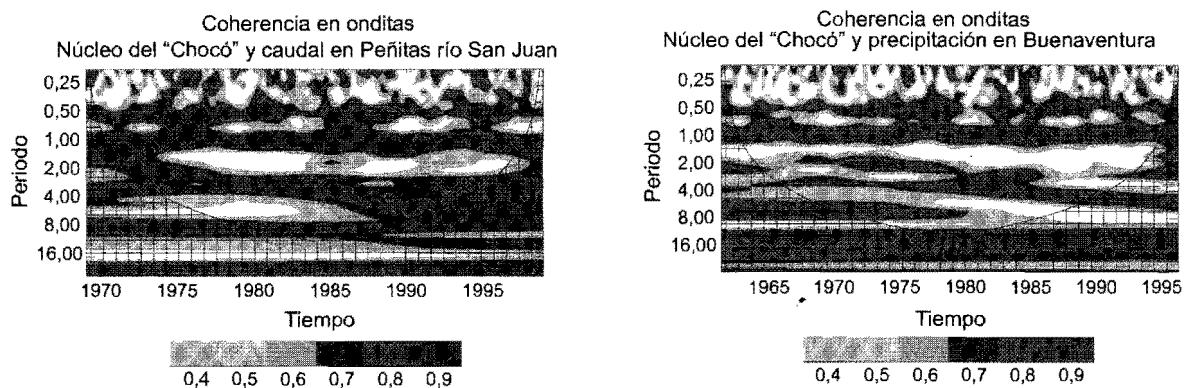


FIGURA 9. Coherencia en onditas entre la serie de tiempo de la advección de humedad debida al chorro del Chocó y el caudal en el río San Juan (a) y precipitación en Buenaventura (b).

Como se anotó antes, existe una correlación entre la advección de humedad debida al chorro del Chocó y los diferentes índices que caracterizan el ENSO, los cuales muestran una disminución de la intensidad del chorro en la fase cálida (El Niño) y un aumento en la fase fría (La Niña). Gil y Quiceno (1997) encontraron, a partir de datos del reanálisis NCEP/NCAR, que el chorro superficial del Pacífico se debilita durante todo el año durante la fase cálida del ENSO, y concluyeron que además durante El Niño existe un déficit de precipitación total durante todo el año, en todo el país, excepto en la Orinoquía.

4. CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento tanto espacial como temporal de la corriente de chorro del Chocó, en sus ciclos anuales y en su variabilidad interanual asociada al ENSO, y se determinó la correlación existente entre esta corriente de chorro y algunas variables hidrológicas en varios lugares del litoral Pacífico.

La variabilidad anual del chorro del Chocó se representa por una correlación positiva y una alta coherencia en onditas en la frecuencia de 1,0 año. Se corrobora lo encontrado en la literatura al observar que el gradiente de temperatura en el océano Pacífico influye en el ciclo anual del chorro del Chocó. Además este ciclo anual es más intenso en los 80°W debido al aumento de la velocidad del viento en esta longitud, aunque la humedad específica sea mayor en los 77,5 °W.

A partir de los análisis de correlación cruzada y de coherencia en onditas se determinó que la variabilidad interanual de la advección de humedad en el núcleo del chorro asociada al ENSO muestra una dependencia lineal e inmediata con los diferentes índices que sirven para monitorear el fenómeno. Además estos análisis aplicados entre la serie de advección de humedad del chorro y las variables hidroclimatológicas de caudal y precipitación permitieron observar que la influencia tanto en la precipitación de la zona como en los caudales es simultánea, dependiendo además de la localización del lugar, y la correlación es mayor para las series de tiempo correspondientes a zonas cercanas al núcleo del chorro. Existe una mayor dependencia lineal para los caudales que para la precipitación en la dependencia y son im-

portantes las frecuencias semianuales, anuales y las asociadas al ENSO.

El fenómeno ENSO influye sobre el comportamiento del chorro del Chocó, al existir una correlación positiva e inmediata entre los índices SOI y MEI y la serie de tiempo de advección de humedad del chorro. La influencia del chorro y su comportamiento es importante para la predicción de la hidroclimatología de esta zona del país debido a la cantidad de humedad que transporta y a su asociación a otros fenómenos climáticos que tienen una importancia en el clima regional y nacional, como son los Complejos Convectivos de Mesoescala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzate, J. 2004. ¿Ha sido el paso de Mistrató labrado por el chorro del Chocó? En: XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Armenia, Quindío, 10 p.
- IDEAM. <http://www.ideal.gov.co>
- Gil, M. y Quiceno, N. 1997. Influencia del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur en el ciclo anual de la hidroclimatología de Colombia. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Hoyos, C. 1999. Algunas aplicaciones de la transformada de Fourier y de la descomposición de onditas en señales hidrológicas y sísmicas. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín..
- NOAA-CIRES. Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA. <http://www.cdc.noaa.gov>
- Poveda, G. 1998. Retroalimentación dinámica entre el ENSO y la hidrología de Colombia. Disertación de Ph. D. en Ingeniería en Recursos Hidráulicos. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Poveda, G. 2002. El chorro del Chocó y su influencia sobre la hidroclimatología de la costa Pacífica Colombiana. En: Geología y oceanografía del delta del río

- San Juan, litoral Pacífico colombiano (Correa A., Iván; Restrepo A., Juan, editores académicos), Fondo Editorial Universidad Eafit, pp. 167-187.
- Poveda, G. y Mesa, O. J. 1996. Las fases extremas del ENSO –El Niño y La Niña– y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Rev. Ing. Hidráulica*. México, XI (1): 21-37.
- Poveda, G. y Mesa, O. J. 1999. La corriente del Chorro Superficial del Oeste (“Del Chocó”) y otras dos corrientes de chorro en Colombia: climatología y variabilidad durante las fases del ENSO. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23(89): 517-528. Hidráulica*. México, XI (1): 21-37.
- Poveda, G. y Mesa, O. J. 2000. On the existence of Lloró (the雨iest locality on Earth): enhanced ocean-atmosphere-land interaction by a low level jet. *Geophys. Res. Lett.* 27(11): 1675-1678.
- Poveda, G. et ál. 2001. Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resources Research*, 37(8): 2169-2178.
- Rendón, A. 2001. Influencia de tres corrientes de chorro sobre la hidrología colombiana. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Stensrud, D. J. 1996. Importance of low-level jets to climate: A review. *J. Climate*, 9: 1711-1996.
- Torrence, C. y G. P. Compo. 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79: 61-78.

Fecha de recibo: 15.03.2006

Fecha de aceptación: 30.03.2006