

# LA CORRIENTE DE CHORRO SUPERFICIAL DEL OESTE (“DEL CHOCÓ”) Y OTRAS DOS CORRIENTES DE CHORRO EN COLOMBIA: CLIMATOLOGÍA Y VARIABILIDAD DURANTE LAS FASES DEL ENSO

por

Germán Poveda & Oscar J. Mesa<sup>1</sup>

## Resumen

**Poveda G. & O. J. Mesa:** La corriente de 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. 1999. ISSN 0370-3908.

Usando los datos del Reanálisis Climático de NCEP/NCAR, se estudió la dinámica de tres corrientes que actúan sobre Colombia. Se descubrió una corriente de chorro de bajo nivel proveniente del Pacífico que penetra al interior introduciendo grandes cantidades de humedad (chorro del CHOCÓ). Su intensidad está fuertemente modulada por el ciclo anual, pero su núcleo está localizado en 5°N durante todo el año. El chorro del CHOCÓ contribuye a la advección de humedad por parte de vientos relativamente fríos que interactúan con los vientos más cálidos predominantes (alisios del este), causando alta inestabilidad atmosférica, alta convección profunda y precipitación, normales en la costa del Pacífico. Esta corriente está asociada con la formación de complejos convectivos de meso-escala que penetran desde el Pacífico hacia el interior y que pueden traspasar la Cordillera Oriental, causando alta precipitación. Se explican cuatro causas de origen de la corriente. También se descubrió otra corriente localizada en el ecuador a la altura de los 700-600 hPa, y con un marcado ciclo anual que interactúa con la corriente del CHOCÓ. Además se descubrió que la corriente de chorro superficial de los alisios del mar Caribe hacia los 12°-14°N, acá denominada “corriente de San Andrés”, después de cruzar el istmo centroamericano, retorna hacia el sureste, contribuye a conformar la corriente del oeste del CHOCÓ. Durante El Niño se debilitan fuertemente tanto la corriente del CHOCÓ, como la corriente de los 700 hPa, y la convergencia superficial de vientos sobre Sudamérica tropical; la divergencia de la zona de 700 hPa también se debilita con la disminución de la precipitación. Esto explica, en parte, el déficit de lluvias durante El Niño, y las condiciones opuestas para La Niña.

**Palabras clave:** ENSO, chorro del Chocó, corriente de San Andrés, Climatología.

<sup>1</sup> Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia e-mail: gpoveda@perseus.unalmed.edu.co.

### Abstract

Using data from the NCEP/NCAR Reanalysis Project, we study the dynamics of three jet streams around Colombia. We have found a low-level westerly jet stream off the Pacific coast of Colombia, which constitutes a principal physical mechanism to explain many features of Colombia's climate and hydrology and to explain their anomalies during both phases of El Niño/Southern Oscillation (ENSO). It exhibits a strong annual cycle, yet its core is located around 5°N, throughout the year. The CHOCO jet contributes to moisture advection through relatively cold winds that interact with the predominant warmer easterly trade winds, thus causing high atmospheric instability, strong deep convection and high precipitation amounts along western Colombia. The CHOCO jet is tightly linked to the formation, development and dynamics of meso-scale convective complexes that penetrate from the Pacific inland contributing to high precipitation. Four causes of the origin of the Chocó jet are proposed. Additionally we have identified the existence of another jet stream at 700-600 hPa, also exhibiting a strong annual cycle, that interacts with the CHOCO jet. Also, there is a low-level easterly jet of the trade winds along the Caribbean Sea around 12°-14°N, which recurves just after crossing the Central American isthmus and, returning to the south east, contributes to form the CHOCO jet over the Pacific Ocean. During El Niño there is a weakening of both the CHOCO westerly jet, and of the 700 hPa easterly jet, and of the low-level convergence over tropical South America. The interaction of these observed jet streams help to explaining hydrological (precipitation and river discharges) deficits during El Niño and the observed positive anomalies during La Niña.

**Key words:** ENSO, Chocó Jet, San Andrés Jet, Climatology.

### 1. Introducción

El Océano Pacífico ejerce un control muy importante sobre la situación climática de Colombia, en particular del occidente y 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 en el promedio anual (Snow, 1976, p. 371; Eslava, 1993). La distribución de la precipitación media anual sobre la región tropical de América del Sur no puede ser explicada únicamente en términos de la advección de humedad por los vientos alisios del este, tanto desde el Océano Atlántico como desde la cuenca Amazónica. De particular importancia, el ciclo anual de las lluvias y los mecanismos de circulación que explican las anomalías climáticas durante las dos fases del ENSO tienen principal origen sobre el Océano Pacífico tropical, en las regiones conocidas como Niño-4, Niño-3 y Niño1+2. La influencia del fenómeno ENSO y otros fenómenos oceánicos y atmosféricos de gran escala sobre la hidroclimatología de Colombia y del norte de Sur América ha sido investigada por Poveda & Mesa (1993, 1995, 1996 a y b, 1997), Poveda (1994 a y b, 1996, 1997, 1998), Poveda et al. (1994, 1998), Poveda & Penland (1994), Poveda & Rojas (1996, 1997).

En este trabajo se usan los datos del Proyecto de Reanálisis Climático desarrollado por el *National Center for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for*

*Atmospheric Research (NCAR)*, de Estados Unidos (Kalnay et al., 1996) para estudiar la dinámica de la circulación de los vientos alrededor del trópico de Sur América y su variación durante las fases extremas del fenómeno ENSO. En el numeral 2 se presenta la existencia de una corriente de chorro superficial del oeste sobre el Pacífico Colombiano, con énfasis en los mecanismos físicos que la originan. En el numeral 3 se presentan otras dos corrientes de chorro del este: una a la altura de los 700 hPa y la segunda casi superficial hacia los 12° N-14°.

### 2. La corriente de Chorro superficial del Oeste en el Pacífico Colombiano (Chocó)

La distribución de los vientos alrededor del trópico Americano a la altura de 925 hPa se observa en la Figura 1. La climatología se presenta en la fila superior, y la diferencia entre la situación de fenómeno El Niño (fase caliente del Océano Pacífico) y la fase fría (La Niña) se presenta en la fila inferior; allí los trimestre de marzo-abril-mayo (MAM), JJA y SON corresponden al año 0 del fenómeno ENSO y el trimestre diciembre-enero-febrero (DEF) corresponde al año +1 del fenómeno ENSO. Nótese la circulación de oeste a este sobre el Pacífico oriental en la latitud de Colombia. Estos vientos tienen dirección sureste-noroeste en el hemisferio Sur y se recurvan la cruzar el Ecuador, pasando a tener dirección suroeste-noroeste en el hemisferio norte. El ciclo anual juega un papel muy importante en la dinámica de estos vientos, ya

que son más intensos durante el período agosto-enero, y alcanzan el máximo en dirección zonal del oeste durante el mes de octubre. Los vientos alisios del noreste que proceden del Mar Caribe también se recurvan y adquieren dirección del oeste al cruzar el istmo centroamericano. Los vientos del oeste que penetran por la costa del Pacífico Colombiano provienen de una corriente de chorro de bajo nivel (muy superficial) del oeste en el trópico. La llamaremos chorro del CHOCÓ (Chorro superficial del Oeste de Colombia, ver Poveda *et al.*, 1998). En la figura 2 se presenta el ciclo anual de la distribución vertical de la componente zonal de la velocidad del viento a los 80°O entre los 5°S y los 15°N, para el período 1982-1994. Se observa que es una corriente de chorro de bajo nivel (hasta los 850 mb) con dirección oeste-este con un ciclo anual muy fuerte, siendo casi imperceptible en los meses de febrero-marzo-abril, intensificándose desde mayo (2 m/s en el núcleo del chorro hacia los 4-5°N y hasta una altura correspondiente a 850 hPa) alcanzando un máximo en octubre-noviembre (más de 6 m/s en el núcleo del chorro), y decreciendo de nuevo hasta el mínimo del mes de febrero. En el análisis trimestral de la velocidad del viento zonal en 80°W (Figura 2), se aprecia en la climatología (fila superior) el marcado ciclo anual de la corriente del CHOCÓ, más intensa durante el trimestre SON, con vientos de más de 6 m/s en el núcleo del chorro hacia los 950 hPa, centrado en 5°N y más débil durante el trimestre MAM, con vientos de 2 m/s, también centrado en 5°N. *Es notable destacar que el núcleo del chorro del CHOCÓ presenta su máxima intensidad en la latitud 5°N, durante todo el año.* Este rasgo merece una explicación física, ya que parecería estar ligado a la topografía de los Andes Colombianos.

La corriente del CHOCÓ es responsable por la fuerte advección de humedad desde el Océano Pacífico hacia el interior de Colombia. Los vientos provenientes del Océano Pacífico, al cruzar la cordillera occidental y descender por su vertiente oriental adquieren carácter de vientos katabáticos (López & Howell, 1967). Los vientos superficiales (más fríos y más densos) provenientes del Océano Pacífico interactúan con los vientos alisios del este sobre la cordilleras occidental y central de Colombia, el cual combinado con el efecto del calentamiento superficial y el ascenso orográfico, produce un perfil atmosférico altamente inestable (Emanuel, 1994, p. 241), que favorece la convección profunda, el ascenso de aire húmedo, altas cantidades de condensación y por tanto alta precipitación a lo largo de la costa occidental de Colombia. En las filas inferiores de las Figuras 1 y 2 se presenta la diferencia entre los eventos de El Niño y La Niña. Se observa que la corriente de chorro del CHOCÓ

se debilita durante El Niño y se intensifica durante La Niña. Esto contribuye a explicar las anomalías hidrológicas en Colombia durante ambas fases del ENSO. ¿Cuales son los mecanismos físicos que regulan la intensidad y la posición de la corriente de chorro del CHOCÓ? La explicación puede darse en términos de la combinación de varios factores, que se estudian a continuación. Ver los detalles en el trabajo de Poveda (1998).

**2.1 Recurvatura de los vientos Alisios:** Trans-Ecuatoriales y Caribeños. Los vientos que soplan sobre la costa del Océano Pacífico de Sur América cruzan la línea ecuatorial en dirección primordial de sur a norte, asociados con la posición casi permanente de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) al norte del ecuador (Philander *et al.*, 1997). El cruce de hemisferio de los vientos alisios significa un cambio en el signo de la aceleración de Coriolis, que a su vez se refleja en la ecuación que describe la dinámica de los flujos trans-ecuatoriales (Hastenrath, 1991, p.176)

$$\frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{V} \cdot \nabla \bar{V} + \bar{V}' \cdot \nabla \bar{V}' = -f k \times \bar{V} - \bar{\alpha} \nabla \bar{p} - \bar{\alpha}' \nabla \bar{p}' + \bar{F} \quad (1)$$

en donde las barras denotan promedios en el tiempo, y las primas denotan las desviaciones con respecto a tales promedios,  $\bar{V}$  es el vector velocidad horizontal,  $\bar{F}$  es la fuerza de fricción por unidad de masa,  $\bar{\alpha}$  es el volumen específico,  $\bar{p}$  es la presión,  $f$  es el parámetro de Coriolis. La primera componente de la ecuación (1) puede aproximarse como

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = +f \bar{v} - \bar{\alpha} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \bar{F}_x \quad (2)$$

Si se supone que la dirección del viento es puramente meridional de sur a norte (no hay componente zonal) donde los vientos cambian de dirección, en la ecuación (2) se termina comparando los términos  $v u/$  y (ambos positivos) con el término  $f v$  (que también debe ser positivo), y por tanto  $f$  debe ser positivo, por lo que la recurvatura tiene que ser en el Hemisferio Norte. Este argumento físico-matemático es válido para explicar la recurvatura de los vientos provenientes del Hemisferio Sur una vez que cruzan la línea ecuatorial, pero no explica la recurvatura (que se convierte casi en un retorno) de los vientos que provienen del mar Caribe y que, una vez que traspasan el istmo Centroamericano, se dirigen hacia el interior de Colombia por la costa Pacífica (ver Figura 1). Esta observación induce a plantear la hipótesis acerca de la recurvatura de los alisios provenientes de los dos Hemisferios sobre la costa Pacífica como resulta-

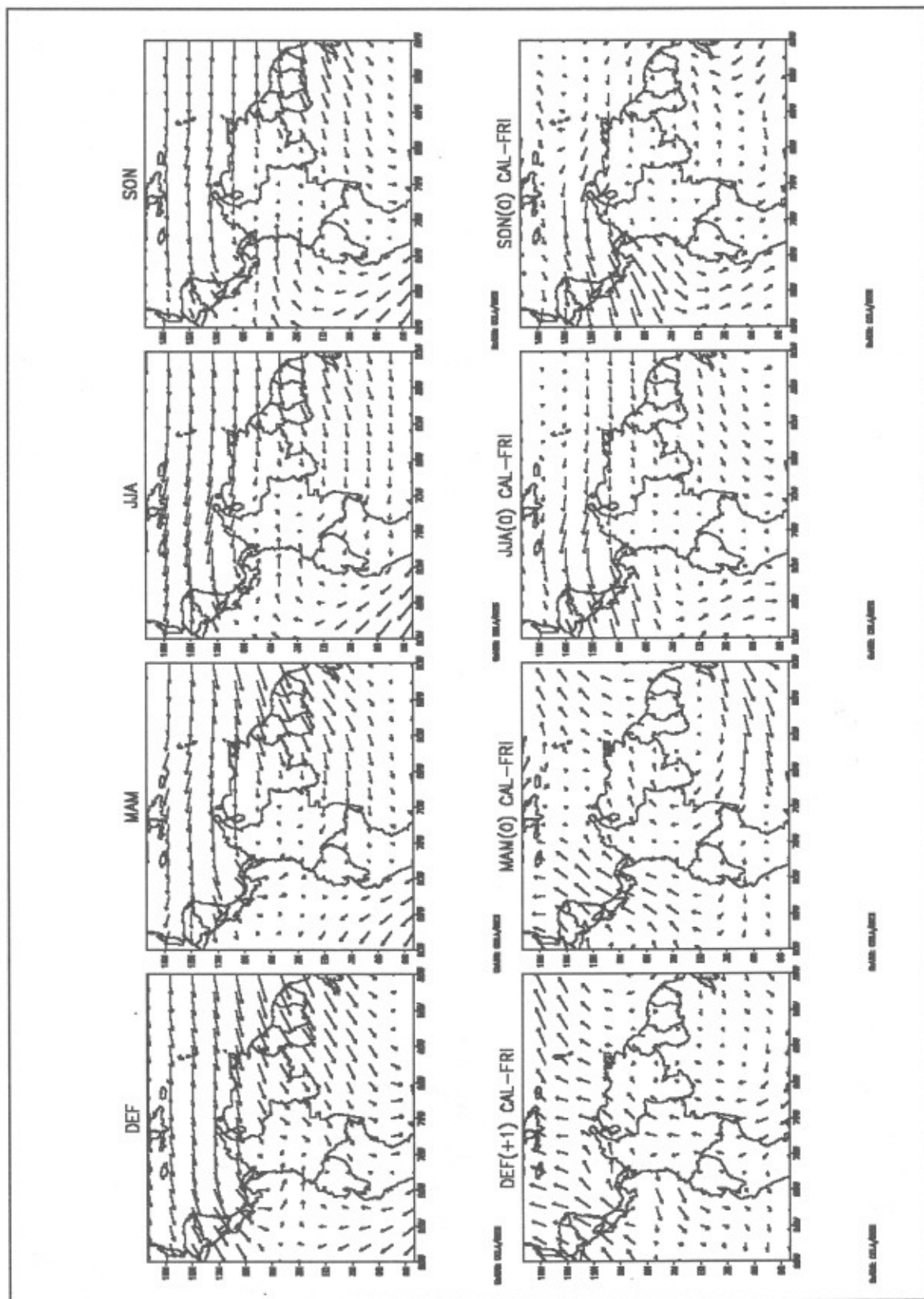


Figura 1. Ciclo anual velocidad de viento 925 mb (m/s) (superior) Diferencia entre eventos cálidos y fríos (inferior)

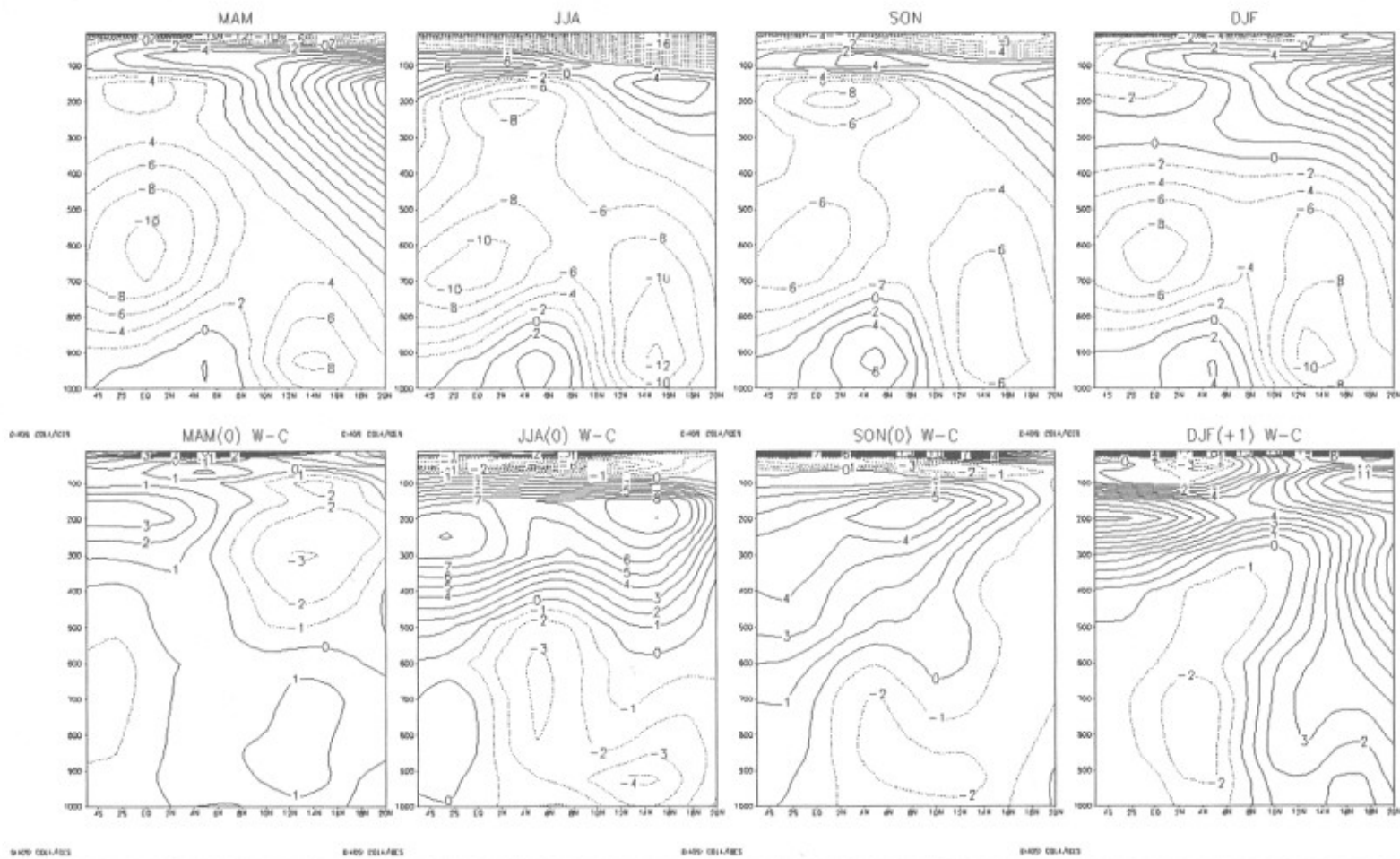


Figura 2. Velocidad de viento zonal por 80W (m/s) (superior) Diferencia entre eventos cálidos y fríos Océano Pacífico (inferior)

do de la convergencia de bajo nivel que se produce en el centro de baja presión cuasi-permanente del Golfo de Panamá, y que por continuidad debe existir consecuentemente con la divergencia de la alta atmósfera, asociada con la región de alta convección y precipitación al occidente de Colombia.

**2.2 Gradiente de Temperaturas Tierra-Océano sobre la costa Pacífica.** La corriente de chorro superficial del CHOCÓ presenta un claro ciclo anual, que se intensifica en el trimestre septiembre-octubre-noviembre. Se ha examinado el gradiente de temperaturas existente entre tres regiones de interés alrededor de la Costa Pacífica de Colombia, usando los datos del Reanálisis Climático de NCEP/NCAR. En las Figuras 3 a y 3b se presenta el ciclo anual de los gradientes de temperaturas superficiales de Colombia (COLOM: 2°N-8°N; 75°W-77.5°W) y las temperaturas superficiales del Océano Pacífico afuera de las costa Colombiana (PACOL: 2°N-8°N; 77.5°W-82°W), así como para la región Niño1+2 del Océano Pacífico (10°S-0°; 90°W-80°W) para el nivel de 925 hPa. Se observa que el mayor gradiente existe entre la porción de tierra sobre Colombia y las TSM de la región Niño 1-2, siempre levemente superior al gradiente de temperaturas entre las dos regiones oceánicas. El ciclo anual presenta un máximo en el mes de septiembre y un mínimo en el mes de marzo. Estacionalmente, el trimestre septiembre-octubre-noviembre presenta un máximo en el trimestre mayo-junio-julio, presenta un mínimo, coincidiendo con los trimestres de mayor y menor intensidad del chorro del CHOCÓ.

El mayor gradiente de temperatura existente entre tierra y océano en el trimestre septiembre-octubre-noviembre 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. El calentamiento diferencial aumenta la energía potencial del sistema continente-océano al establecer una diferencia de presión entre partículas de aire entre uno y otro. El aire que inicialmente está sobre el océano es más frío, y más denso por tanto, que el aire situado sobre el continente. La fuerza generada por el gradiente de presión, que tiende a igualar las diferencias de presión, obliga a que el aire más frío y denso del océano se mueva hacia la tierra, penetrando por debajo del aire caliente situado encima de ésta. Por tanto, el aire caliente se ve forzado a ascender. La precipitación elevada que ocurre sobre la zona libera enormes cantidades de calor latente añadiendo una considerable fuerza a la columna de aire ascendente sobre un continente más caliente. Las partículas de aire ascienden a mayor altura, provocando una mayor reducción de presión sobre la tierra y dando lugar a una

entrada más vigorosa de aire húmedo procedente del Océano Pacífico. Hay una intensificación de una circulación océano-tierra, permanente durante todo el ciclo anual de la climatología, pero que sí se puede reversar durante el ciclo diario. La intensidad del chorro del CHOCÓ está completamente asociada con el ciclo anual del gradiente de temperaturas tierra-océano sobre la costa Pacífica de Colombia.

**2.3 Ascenso Orográfico sobre la Cordillera Occidental.** La corriente del CHOCÓ se orienta perpendicularmente hacia la cordillera Occidental de los Andes Colombianos. Al encontrar tal barrera, los vientos ascienden por el efecto orográfico que impone la presencia de los Andes y, como se dijo, entran en interacción con los vientos alisios del este que soplan desde el mar Caribe o desde la cuenca del Amazonas. El ascenso de gran cantidad de humedad y la presencia de un proceso acelerado de convección profunda dan origen a la gran cantidad de precipitación de la costa Pacífica de Colombia. De ahí la alta divergencia de vientos que se presenta en la alta atmósfera sobre la región, según resultados del Reanálisis de NCEP/NCAR (no mostrados aquí).

**2.4 Complejos Convectivos de Meso-escala.** La existencia de la corriente de chorro del CHOCÓ es uno de los mecanismos fundamentales para explicar la existencia de Complejos Convectivos de Meso-Escala sobre Colombia. En diversas partes del mundo se ha encontrado que existe una estrecha relación entre la actividad de corrientes de chorro superficiales con una intensa actividad de convección profunda, y en particular con el desarrollo y evolución de CCM (Stensrud, 1996) tal como ocurre sobre la costa Pacífica de Colombia. Tanto los CCM como las corrientes de chorro superficiales tienen un fuerte ciclo diario. Allí está la fuente de aire frío que favorece la formación de frentes de brisas marinas con un ciclo diario muy marcado (Meisner & Arkin, 1987; Janowiak *et al.*, 1994). Se le ha dado el nombre de "Chocosana" al frente diario de humedad que se desplaza sobre la región del Darién (Arnett & Steadman, 1970). Allí se forman complejos convectivos de meso-escala, (CCM) los cuales penetran al interior del país por la costa Pacífica, yendo muchas veces más allá de la cordillera oriental (López & Howell, 1967; Velasco & Frisch, 1987).

### 3. Dos corrientes de Chorro del Este en Suramérica Tropical: de los 700-600 hpa y superficial de San Andrés

El análisis de la distribución vertical de los vientos zonales muestra (Figuras 4 y 5) que en la climatología

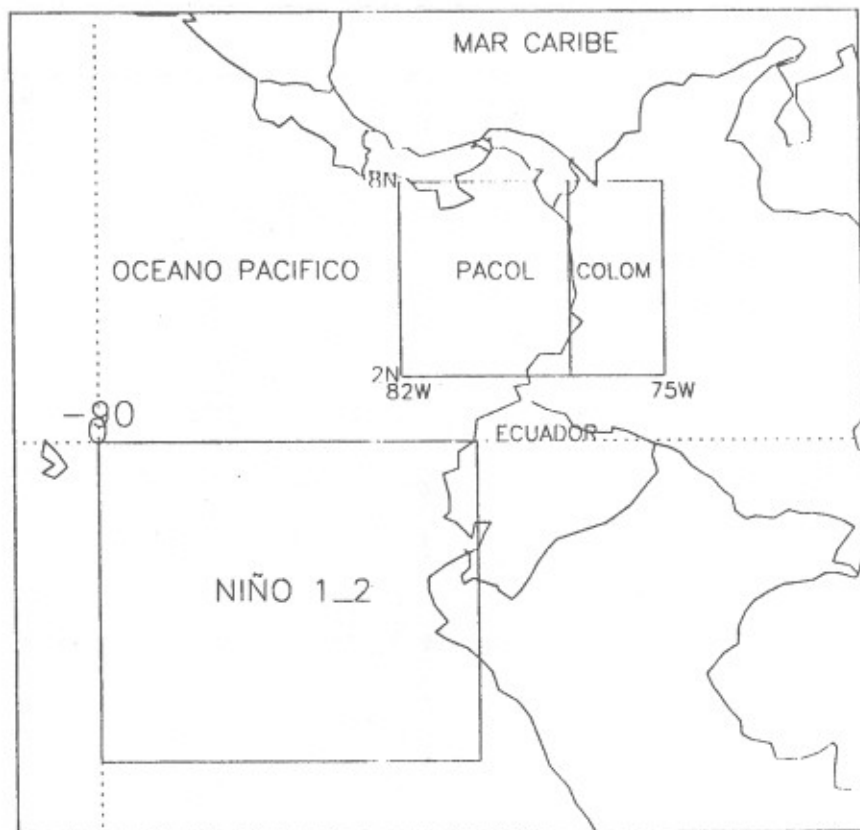
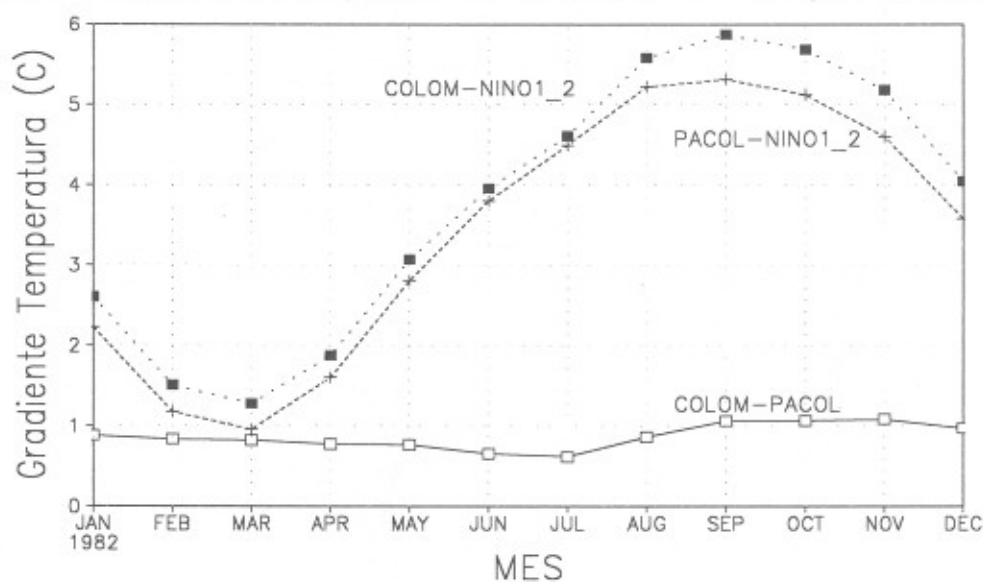


Figura 3a.



GrADS: COLA/IGES

Figura 3b. Ciclo anual de los gradientes de temperaturas superficiales de Colombia (COLOM: 2°N-8°N; 75°W-77.5°W) y las temperaturas superficiales del Océano Pacífico afuera de las costas colombianas (PACOL: 2°N-8°N; 77.5°W-82°W), así como para la región Niño 1+2 del Océano Pacífico (10°S-0°; 90°W-80°W) para el nivel de 925 hPa.

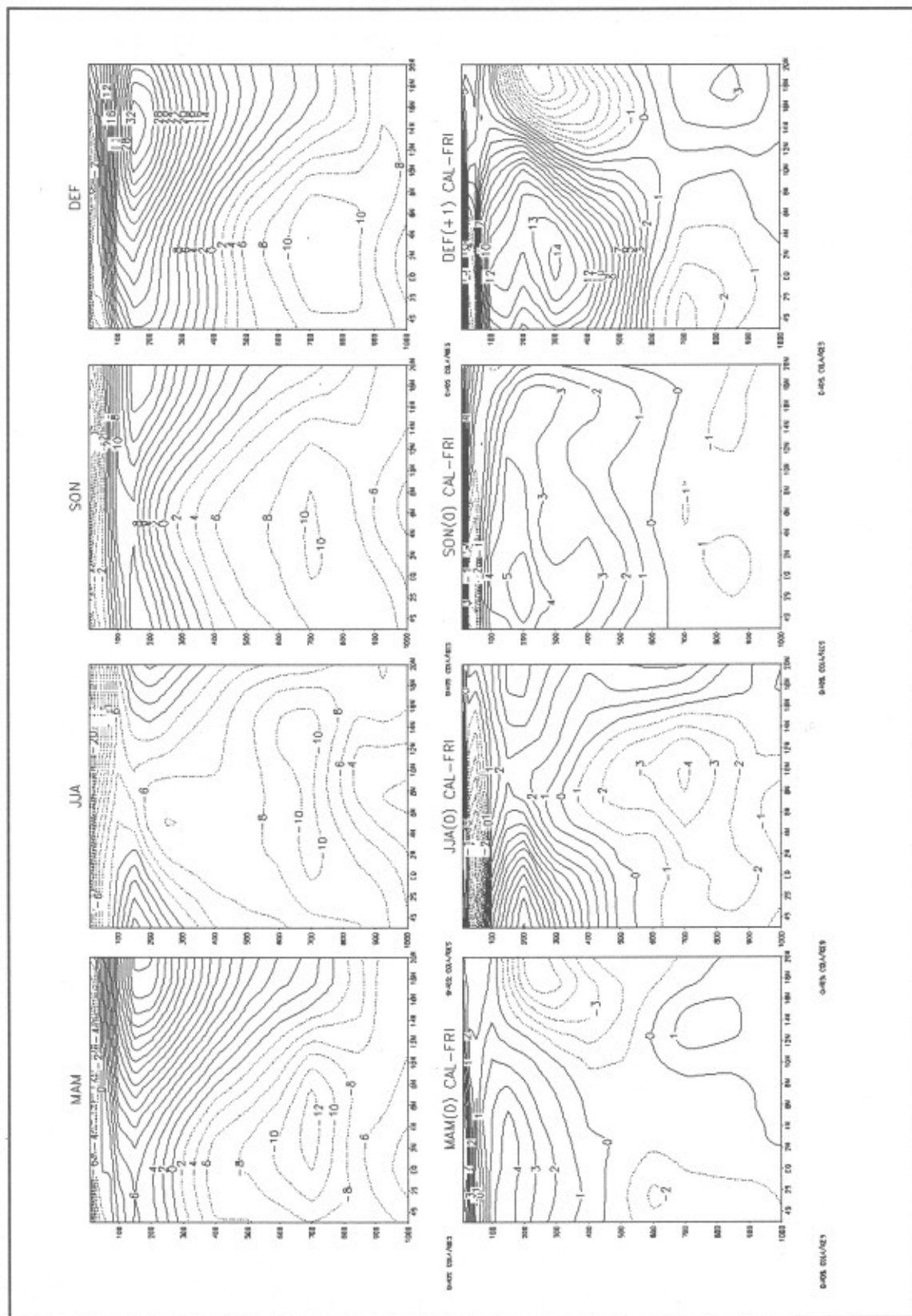


Figura 4. Ciclo anual Velocidad de viento zonal, 30 W (m/s) (superior). Diferencia entre eventos cálidos y fríos (inferior)



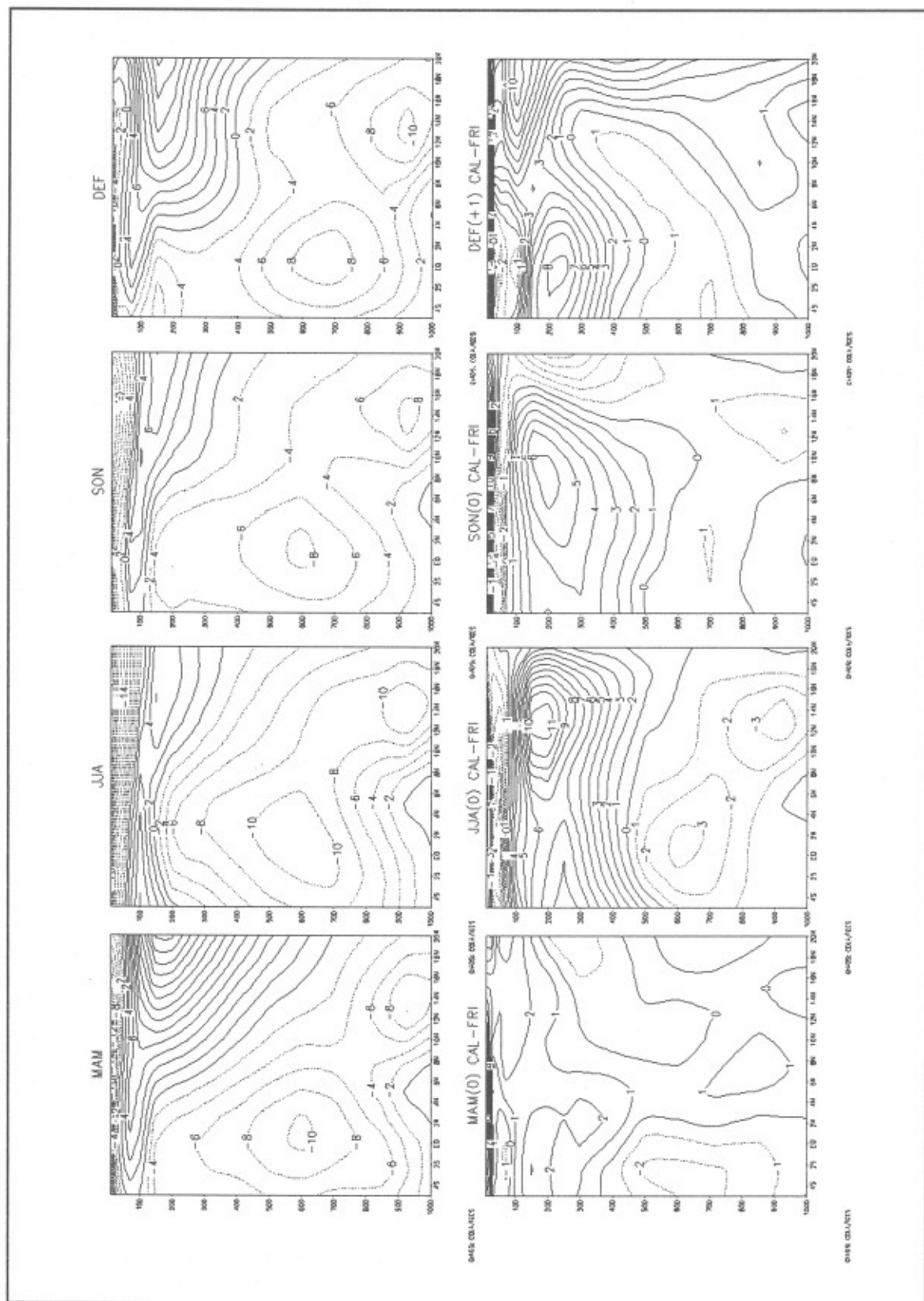


Figura 5. Ciclo anual Velocidad de viento zonal, 70 W (m/s) (superior). Diferencia entre eventos cálidos y fríos (inferior)

también se presentan dos corrientes de chorro del este, además de la corriente de chorro superficial del oeste (CHOCO). Una primera corriente de chorro del este a la altura de los 700-600 hPa, que penetra al continente suramericano proveniente del Océano Atlántico y que es posible detectarla desde el oeste de Africa. Hacia los 30°W el núcleo de la corriente alcanza velocidades de 10-12 m/s (Figura 4). En el trimestre JJA aparece alcanzando desde el ecuador hasta los 14°-15°N. Al acercarse al continente, la corriente empieza a perder velocidad en sus capas inferiores y en los trimestres de SON y DEF se baja desde los 600-700 hPa hasta los 850-800 hPa con intensidades de 10 m/s. La penetración al continente Suramericano rompe la continuidad precisa de esta corriente de chorro del este de los 700 hPa, debido a la alta convergencia en los niveles bajos de la atmósfera. Hacia los 55°W y 60°W la corriente de chorro del este tiene una forma elongada e inclinada a las capas más superficiales en el norte, lo que ya presagia su partición más adelante en dos corrientes diferentes del este. Hacia los 65°W se observa la bifurcación de la corriente de los 700 hPa en dos corrientes separadas, un ramal que continua por los 600-700 hPa, más intenso que por los 60°W, especialmente durante los trimestres de DEF y MAM. Esta mayor intensidad la adquiere con la alta divergencia de viento que se establece en los 700 hPa sobre el continente. Sobre el continente, la corriente exhibe un marcado ciclo anual, más intensa en el trimestre MAM, con velocidades del orden de más de 10 m/s en el núcleo, y más débil en el trimestre SON, con velocidades de 6 m/s en el núcleo. La corriente de chorro del este de los 700-600 hPa oscila muy poco meridionalmente, entre el Ecuador en el trimestre MAM y los 2°S en el trimestre SON. Hay una correspondencia inversa entre los trimestres de máxima y de mínima intensidad de las corrientes del CHOCO y de los 700-600 hPa, de dirección opuesta, y que merece ser explicada. La corriente de chorro de los 600-700 hPa se vuelve más superficial (800 hPa) al salir de nuevo a mar abierto sobre el Océano Pacífico tropical. Hacia los 180°W la corriente ya es poco discernible. Ver detalles en Poveda (1998).

El segundo ramal se convierte en la corriente de chorro del este superficial, localizada entre los 13°N-15°N y con núcleo un poco más abajo de los 900 hPa, y que llamaremos corriente de chorro superficial del este de SAN ANDRES (por su cercanía a la isla Colombiana sobre el Mar Caribe), con velocidades máximas de más de 12 m/s en el trimestre JJA y mínimas de 6 m/s en el trimestre SON, que proviene de los alisios del este.

El chorro del CHOCÓ se encuentra embebido entre dos corrientes de chorro del este: la corriente de chorro

superficial de los alisios del norte hacia los 13°N-15°N de SAN ANDRES, y la de los 700-600 hPa, localizada entre los 2°S y el ecuador. Parecería que estas dos corrientes de chorro del este resultan de la división de una misma corriente que proviene del este. Hacia los 70°W (Figura 5) las dos corrientes de 700-600 hPa y de SAN ANDRES se distinguen perfectamente, con velocidades mayores de 8 y 10 m/s. El ciclo anual es importante ya que se presenta una alternancia de velocidades mayores entre los trimestres de DEF y MAM (Tabla 1).

**Tabla 1.** Velocidades zonales máximas (m/s) de las corrientes del este de 700 hPa y de San Andrés, durante el ciclo anual (Ver Figura 5).

	MAM	JJA	SON	DEF
Corriente de 700 hPa	10	10	8	8
Corriente de San Andrés	8	10	8	10

Parte de los vientos de la corriente de SAN ANDRES se recurvan después de cruzar el istmo centroamericano y (devolviéndose) entran a formar parte de los vientos que conforman la corriente del CHOCO, en conjunción con los vientos provenientes de la recurvatura de los vientos trans-ecuatoriales del Hemisferio Sur. Una evidencia de este hecho es que la corriente de SAN ANDRES se hace más débil al seguir avanzando hacia el este, ya que para los cuatro trimestres del año, el núcleo es de menor velocidad por la Longitud 85°W que por la Longitud 80°W.

#### 4. Conclusiones

Se ha estudiado la climatología de tres corrientes de chorro alrededor de Colombia, usando los datos del Reanálisis Climático de NCEP/NCAR. La corriente de chorro del CHOCÓ está fuertemente modulada por el ciclo anual, pero su núcleo está localizado en 5°N a través de todo el año. Esta corriente de chorro contribuye a la advección de humedad por parte de vientos fríos que interactúan con los vientos predominantes alisios del este, causando alta inestabilidad atmosférica, grandes cantidades de convección y precipitación, normales en la costa Pacífica Colombiana. La corriente del CHOCÓ está también asociada a la formación de complejos convectivos de sobre la costa Pacífica de Colombia. El origen de la corriente del CHOCÓ se explica por la recurvatura de los vientos alisios del sureste y del noreste, por el gradiente de temperaturas existente entre las regiones de

Niño1+2 y la costa Pacífica de Colombia, así también como por la existencia de un centro cuasi-permanente de bajas presiones sobre el Pacífico Colombiano y por la interacción con otras dos corrientes de chorro provenientes del este, sobre la geografía Colombiana. En efecto, en este trabajo se ha descubierto la existencia de otra corriente de chorro sobre la geografía Colombiana, localizada en el ecuador a la altura de los 700-600 hPa, también con un marcado ciclo anual, y que intructúa con la corriente del CHOCO. Además se ha descubierto que la conocida corriente de chorro superficial de los alisios del mar Caribe hacia los 12°-14°N, que hemos denominado "corriente de San Andrés", después de cruzar el istmo centroamericano, se recurva y, retornando hacia el sureste, contribuye a conformar la corriente del oeste del CHOCO sobre el Pacífico Colombiano. La evidencia indica que las dos corrientes del este se ramifican de una misma corriente de chorro proveniente del Océano Atlántico. Durante El Niño se debilitan fuertemente tanto la corriente del CHOCO, así como la corriente de los 700 hPa, y la convergencia superficial de vientos sobre Suramerica tropical, la divergencia de la zona de 700 hPa que en condiciones normales es intensa también se debilita consistentemente con la disminución de la precipitación. Los mecanismos físicos que modulan las anomalías hidrológicas durante las dos fases del ENSO en Colombia y el norte de Sur América son (Poveda & Mesa, 1997; Poveda, 1998; Poveda *et al.*, 1998): (1) el debilitamiento de la corriente de chorro superficial del oeste que penetra desde el Océano Pacífico al interior de Colombia por los 5°N, descubierta en este trabajo; (2) el debilitamiento de la corriente de chorro ecuatorial de los 700 hPa; (3) la reducción de advección de humedad desde el Mar Caribe; (4) la reducción en número e intensidad de las ondas tropicales del este sobre el Atlántico tropical norte; (5) el desplazamiento de la ZCIT hacia el sur-oeste de su posición normal, como consecuencia del establecimiento de una celda de Hadley anómala sobre el trópico de las Américas; y (6) retro-alimentación entre procesos tierra-atmósfera.

La interacción dinámica y termodinámica de las corrientes de chorro del oeste del CHOCÓ y del este de los 700 hPa y de San Andrés, es un tema de investigación primordial para entender el clima y la hidrología de Colombia, que queda abierto hacia el futuro. Para ello es absolutamente fundamental que el IDEAM implemente un programa de mediciones en tierra y en la vertical atmosférica de estas corrientes de chorro. En particular, las mediciones de radiosondeos de la corriente de chorro del Chocó debe hacerse hacia la altura de los 5°N sobre la costa Pacífica de Colombia. Las implicaciones hidro-

climáticas son importantes en tareas de diagnóstico y predicción a diversas escalas temporales, que comprenden desde el ciclo diurno hasta los ciclos interanuales asociados al evento ENSO.

## Referencias

- Arnett, A. B. & C. R. Steadman, 1970. *Low-level wind flow over eastern Panama and northwestern Colombia*. ESSA Technical Memorandum ERLTM-ARL 26, U. S. Dept of Commerce, Air Resources Lab., Silver Spring, Maryland, 73 pp.
- Emanuel, K. A., 1994. *Atmospheric Convection*, Oxford University Press, New York, 580p.
- Eslava, J., 1993. Algunas particularidades climáticas de la región del Pacífico Colombiano. *Atmósfera*, 17, 45-63.
- Janowiak, J. E., P. A. Arkin, & M. Morrissey, 1994. An examination of the diurnal cycle in oceanic tropical rainfall using satellite and in situ data. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 2.296-2.311.
- Kalnay, E., M. Kanatmisu., R. Kistler & otros, 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Washington, 77, 437-470.
- López, M. E., & W. E. Howell, 1967. Cloud seeding at Medellín, Colombia, during the 1961-64 dry seasons. *J. Appl. Met.*, 4, 54-60.
- Meisner, B. N., & P. A. Arkin, 1987. Spatial and annual variations in the diurnal cycle of large-scale tropical convective clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2.009-2.032.
- Poveda, G., 1994a. Funciones Ortogonales Empíricas en el análisis de la relación entre los caudales medios en Colombia y las temperaturas de los océanos Pacífico y Atlántico. *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 131-144.
- \_\_\_\_\_, 1994b. Cuantificación del efecto de El Niño y La Niña sobre los caudales en Colombia. *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 107-117.
- \_\_\_\_\_, 1996. Modulación de la Hidrología de Colombia por el ENSO y otros fenómenos de gran escala. *Trabajo presentado como requisito parcial para optar a la categoría de Profesor Asociado*, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- \_\_\_\_\_, 1997. Atractores extraños (Caos) en la hidroclimatología de Colombia?, *Rev. Acad. Col. Cienc.*, Vol. 21, No. 81, 431-444.
- \_\_\_\_\_, 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.
- \_\_\_\_\_, & O. J. Mesa, 1993. Metodologías de predicción de la hidrología Colombiana considerando el evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). *Atmósfera*, 17, Sociedad Colombiana de Meteorología, Bogotá.
- \_\_\_\_\_, & \_\_\_\_\_, 1995. The Relationship between ENSO and the hydrology of tropical South America. The case of Colombia. *Proceedings of the Fifteenth Annual American Geophysical Union Hydrology Days*, 227-236, Atherton, CA, USA, Hydrology Days Publications.

\_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_, 1996a. Las fases extremas del ENSO - El Niño y La Niña - y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Revista de Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XI, No. 1, 21-37.

\_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_, 1996b. La Oscilación del Atlántico Norte y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Memorias XVII de los océanos Pacífico y Atlántico, Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*, Vol. II, Guayaqui, Ecuador, IAHR, 343-354.

\_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_, 1997. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. *Journal of Climate*, Vol. 10, 2690-2702.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, L. F. Carvajal, & J. E. Salazar, 1994. Lluvias en Colombia: Correlación con el clima del Océano Pacífico y Análisis de Funciones Ortogonales Empíricas, *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 93-105.

\_\_\_\_\_ & C. Penland, 1994. Predicción de caudales medios en Colombia usando Modelación Lineal Inversa, *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 119-129.

\_\_\_\_\_ & W. Rojas, 1996. Impacto del fenómeno El Niño sobre la intensificación de la malaria en Colombia. *Memorias XII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá, 647-654.

\_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_, 1997. Evidencias de la asociación entre epidemias de malaria en Colombia y el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur. *Rev. Acad. Col. de Cienc.*, Vol. 21, No. 81, 421-429.

\_\_\_\_\_, M. M. Gil & N. Quiceno, 1998. The Relationship Between ENSO and the Annual Cycle of Colombia's Hydro-climatology. Second International Conference on Climate and Water Helsinki, August 17-20.

Snow, J. W., 1976. The climate of northern South America, En: *Climates of Central and South America*, W. Schwerdtfeger (ed.), Elsevier, Amsterdam, 295-403.

Stensrud, D. J., 1996. Importance of low-level jets to climate: A review. *J. Climate*, 9, 1698-1711.

Velasco, I., & M. Frisch, 1987. Mesoscale convective complexes in the Americas. *Jour. Geoph. Res.*, 92, D8, 9591-9613.