

# SOBRE LOS ALISIOS DEL NORDESTE Y LA EXISTENCIA DE UNA CORRIENTE EN EL PIEDEMONTE ORIENTAL ANDINO

por

Gerardo de J. Montoya G., Joaquín Pelkowski & Jesús A. Eslava R.<sup>1</sup>

## Resumen

**G. Montoya, J Pelkowski & J.A. Eslava:** Sobre los alisios del nordeste y la existencia de una corriente en el piedemonte oriental andino. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **25**(96): 363-370, 2001. ISSN 0370-3908.

Nuevas evidencias sobre el comportamiento de los vientos alisios, aportadas por la información del "Reanálisis" son discutidas en este trabajo. En particular, se muestra que los alisios del noreste ejercen una marcada influencia sobre la región norte de Sudamérica y hasta, aproximadamente, 5-10° S durante el invierno boreal. Además, se llama la atención sobre la existencia de una corriente, detectada en ese conjunto de datos, la cual bordea el costado oriental de los Andes hasta 20-30° S, durante esta misma época del año. La existencia de estos vientos y de tal corriente, por lo visto no mencionadas hasta ahora en la literatura especializada, pueden ser explicadas teóricamente por la relación entre el viento y presión para latitudes bajas. Además, la influencia de los alisios del noreste durante el invierno puede tener importantes consecuencias en el ciclo hidrológico de la Amazonia, en la conformación de su flora y de su fauna, como también en el transporte de partículas de polvo, polen y otras sustancias desde la costa noroccidental africana hasta el costado nororiental de Sudamérica.

**Palabras clave:** Sudamérica, meteorología, vientos alisios, corrientes de aire, hidrología, Amazonia.

## Abstract

Based on new evidence from the Reanalysis, we examine the behavior of the trade winds, especially the influence of the northeast trades, which have a marked bearing on the northern part of South America, down to approximately 5-10°S during the boreal winter. We point out the presence of a current in these data, bordering the eastern limits of the Andean chain well down to 20-30°S, during the same period of the year. Those winds, as well as the current which seemingly have remained unnoticed in the extant literature, may be understood on the basis of a simple wind-pressure relationship. The trades and the current may be helpful in explaining the hydrological cycle of Amazonia, the formation of the flora and fauna there, as well as the long range transport of dust and pollen, among other substances, from the north African coast to South America.

**Key words:** South America, meteorology, trade winds, northeast trades, hydrology, Amazon basin.

<sup>1</sup> Profesores Grupo de Investigación en Meteorología - Departamento de Geociencias - Universidad Nacional de Colombia.

## 1. Introducción

Los vientos alisios son, tal vez, la característica más sobresaliente de la circulación atmosférica en ambos hemisferios. El nombre de estos vientos se deriva de su persistencia. Los franceses los llamaban "vents alizés", de una vieja palabra francesa "alis" que significa regular.

Los vientos alisios revisten una singular importancia en la historia del desarrollo del nuevo mundo. Los extensos viajes en la era de los descubrimientos geográficos habían permitido conocer los alisios a partir del siglo XV, con el consiguiente aprovechamiento para la navegación. A este respecto, **Eslava** (1992) (en su obra, *El enigma de Colón y los descubrimientos de América*) anota: "...para llegar hasta el Caribe bastaba con colocar un velero en el corredor de los alisios que soplan constantemente desde la zona noreste de las Canarias". Los españoles llamaban por ello a esta parte del Océano "el mar de las damas" (**Helmholtz**, 1875), porque se les podía entregar el timón de los veleros.

Tal vez la primera descripción de estos vientos fue hecha en 1590 por el padre Jesuita José de Acosta, (**Acosta**, 1590). Por la misma época, Galileo Galilei asociaba la existencia de estos vientos con la rotación del cielo. Más tarde a fines del siglo XVII, grandes eruditos de la ciencia; E. Mariotte, E. Halley, y R. Hook así como el bucanero W. Dampier (ver **Hellmann**, 1896), enriquecen el conocimiento empírico, teórico y práctico de los alisios, en parte asociándolos con el intercambio de masas de aire entre el polo y el ecuador. Sin embargo, una explicación científica más acertada se debe a **Hadley** (1735). Posteriormente, estos vientos fueron analizados por **Teisserenc de Bort & Rotch** (1905), **Sverdrup** (1917), **Riehl et al.** (1951), **Riehl & Malkus** (1957), **Neiburger** (1960), entre otros (ver también **Hastenrath**, 1996).

Las principales características de estos vientos y su relación con el campo de la presión y otros parámetros se describen por ejemplo en los libros de **Riehl** (1979), **Krishnamurti** (1976), **Hastenrath** (1996), quienes basaron sus análisis en datos escasos y plasmados en las cartas confeccionadas por **US Departement of Commerce** (1938): **Atkinson & Sadler** (1970), entre otros autores.

Nuevas características del comportamiento de los vientos alisios, en particular de los alisios del noreste, pueden ser observadas en conjuntos de datos más recientes, tales como los del proyecto "Reanálisis", un conjunto de datos preparado por el programa NCEP NCAR de los EE UU con base en las observaciones meteorológicas de rutina, satélites meteorológicos, y otras fuentes de datos (ver por ejemplo **Kalnay, Kanamitsu & Kistler**, 1996).

El objetivo principal de este trabajo es presentar estas nuevas características del comportamiento de los vientos alisios del noreste, con base en el análisis de los mapas preparados con la información del "Reanálisis" y su comparación con las anteriores. La exposición del trabajo está organizada de la siguiente manera: primero se revisan las principales características de los vientos alisios; esta revisión está basada en las cartas de **Riehl** (1979) y del "Reanálisis". En el párrafo 3 se analiza la influencia de los alisios del noreste sobre la región norte de Sudamérica. En el párrafo 4 se analiza la corriente que bordea los andes orientales y finalmente se presentan las conclusiones.

## 2. Características principales de los vientos alisios

Los vientos alisios se originan en las altas subtropicales y fluyen hacia el ecuador, algunas veces traspasándolo, con dirección del noreste en el hemisferio norte y del sureste en el hemisferio sur, tal como se puede observar en la figura 1, tomada de **Riehl** (1979).

Debido probablemente a la falta de observaciones, en la figura 1, no se nota una influencia marcada de los alisios del noreste sobre la región continental de Sudamérica durante el invierno boreal. En la parte superior de la figura 1 se percibe más bien una discontinuidad de los alisios en esta zona. Mapas de viento similares a los de la figura 1 (arriba), se presentan repetidamente en atlas y otras publicaciones (ver por ejemplo, **Lacoste** 1992, pag. 126), que, como se verá más adelante, no coinciden con los mapas construidos con base en el "Reanálisis" para la estación de invierno.

En las figuras 2a, b y c, se presentan los mapas medios mensuales de presión y vientos (superpuestos) construidos en base a la información del Reanálisis para el período 1969 - 1998. En estos mapas, las isólnas corresponden a valores medios de presión y las flechas a la dirección y velocidad del viento medio.

Los cuadros de las figuras 2a, b y c, confirman las características medias de los vientos alisios y de la circulación tropical encontradas y analizadas por **Krishnamurti** (1976), **Riehl** (1979), **Hastenrath** (1996), entre otros autores. Además, de las características ya mencionadas en relación con la figura 1, se señalan las siguientes: la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) ocupa su posición más septentrional en julio- agosto y su posición más austral en enero - febrero. La ZCIT, la vaguada ecuatorial y las altas subtropicales, migran durante el año siguiendo los pasos de la declinación del sol.

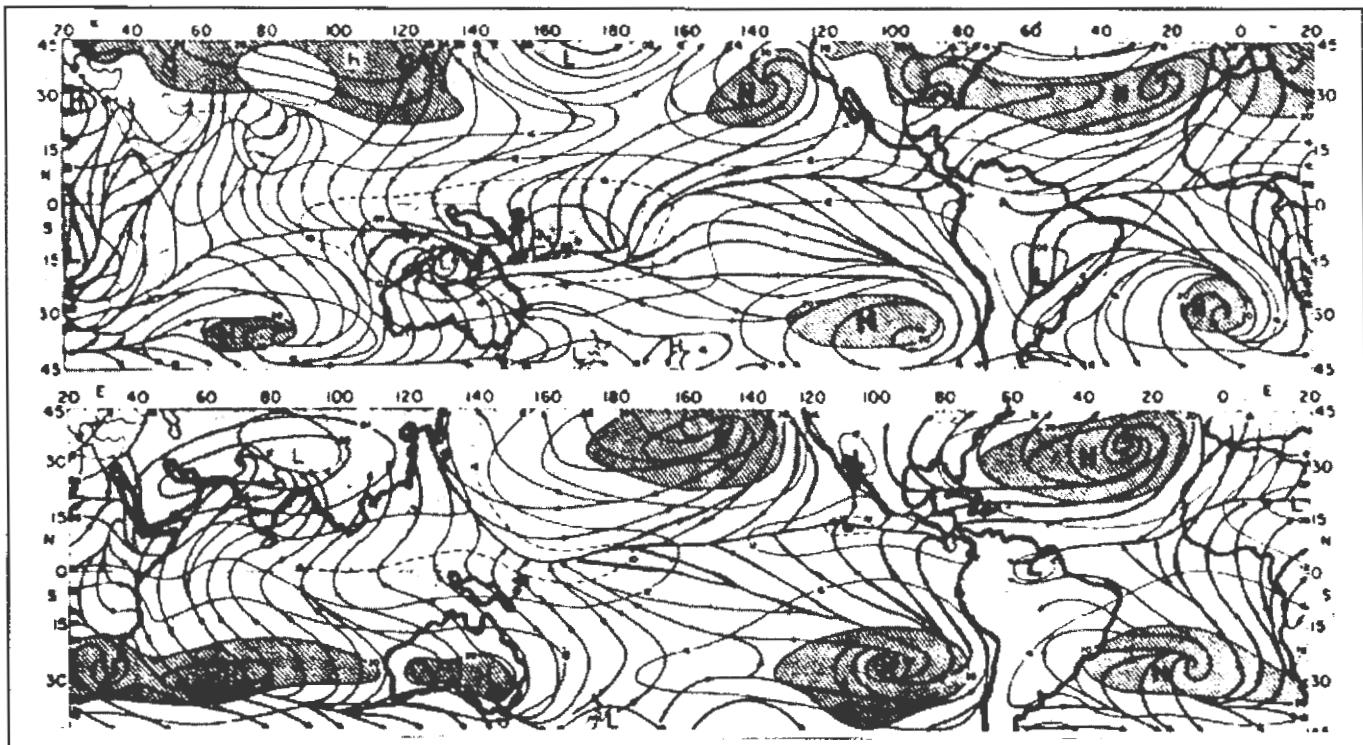


Figura 1. Líneas de corriente en superficie e isobaras a nivel del mar. Arriba: Enero. Abajo: Julio. Las áreas con presión superior a 1020 hPa están sombreadas. Tomada de Riehl (1979).

Estas observaciones confirman que la información contenida en el "Reanálisis" reproduce las características principales de la circulación tropical y de los vientos alisios en la región analizada, permitiendo con ello sacar nuevas conclusiones sobre el comportamiento de los vientos alisios.

### 3. La influencia de los vientos alisios sobre la región norte de Sudamérica durante el invierno boreal.

Observando detenidamente los cuadros de las figuras 2a, b y c, se observa una región continua ocupada por los alisios del noreste desde diciembre hasta marzo aproximadamente. Esta región llega a extenderse desde la costa occidental africana hasta 5-10°S en el continente Sudamericano y por lo visto no parece haber sido registrada por otros autores.

Los contornos de presión en las figuras 2a, b y c, también muestran algo muy peculiar: a partir del mes de octubre, comienza a formarse un sistema de baja presión sobre el continente sudamericano, el cual emerge desde latitudes subtropicales (20-30°S) y luego se funde con vaguada ecuatorial presente en esta época del año. La región de

bajas presiones perdura hasta marzo, se extiende hasta 5°-7° norte y se puede reconocer en los cuadros de las figuras 2a, b y c, como la región sombreada en forma de hongo, de octubre hasta diciembre, y en forma de caballito de mar desde enero hasta marzo. Durante los meses siguientes esta región de baja presión comienza a fraccionarse hasta diluirse completamente en los meses de julio-agosto y septiembre.

La acción de los vientos alisios del noreste sobre la región norte de Sudamérica parece entonces estar relacionada con la vaguada ecuatorial, la cual entra a formar parte de un sistema de baja presión más extenso, que se forma sobre el continente sudamericano durante esta época del año.

### 4. La corriente que bordea el Piedemonte de la Cordillera de los Andes durante el invierno

En los gráficos de la figura 3 se muestra el mismo campo de viento de las figuras 2a, b y c, pero ahora superpuesto a una carta geográfica de Sudamérica con indicación de relieve.

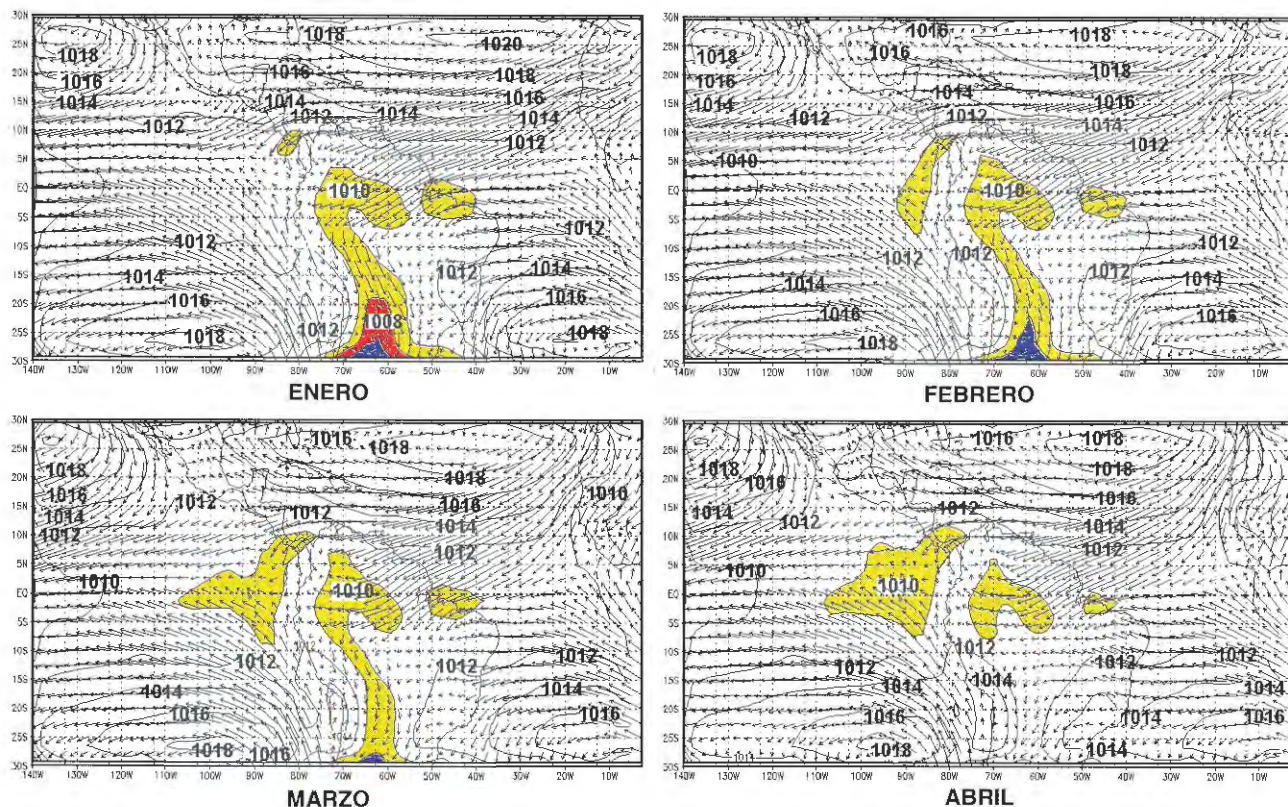


Figura 2a. Mapas medios mensuales de viento (flechas) y de presión (isolíneas). Las áreas sombreadas corresponden a bajas presiones (1010 hPa y menos), sobre el continente Sudamericano.

En estos cuadros se puede observar cómo los alisios del nordeste entran en el continente sudamericano por la costa nororiental y penetran luego hasta el costado oriental de la cordillera de los Andes, dando lugar a una corriente (resaltada en la figura 3) que bordea el piedemonte oriental de la cordillera y avanza bien adentro hasta latitudes subtropicales. Esta corriente extiende su acción de diciembre a marzo aproximadamente. Si la existencia de esta corriente, por lo visto aún registrada en la literatura disponible, más que un resultado o artefacto del "Reanálisis", podría ser llamada corriente de los Andes Orientales (CAO).

##### 5. La relación entre el campo del viento y la presión: una probable explicación

Una probable explicación a la existencia de estos vientos del nordeste y la formación de la corriente CAO durante el invierno puede ser obtenida mediante un análisis

de la relación existente entre el campo del viento y el de la presión para latitudes tropicales.

Entre el viento y la presión existe una estrecha relación. En latitudes medias del hemisferio norte y en la atmósfera libre, el viento fluye aproximadamente a lo largo de las isobaras. Además, alrededor de centros de alta presión, como es el caso de las altas subtropicales, en el hemisferio norte el viento circula en el sentido de las manecillas del reloj (en el hemisferio sur el sentido de la rotación se invierte). Esta forma de circulación del viento según las isobaras, es una consecuencia del equilibrio entre tres fuerzas: el gradiente de presión, la fuerza de Coriolis y la fuerza centrífuga. El viento resultante de este equilibrio se conoce con el nombre de viento de gradiente, y matemáticamente se expresa a través de la ecuación del movimiento escrita en coordenadas naturales (curvilíneas) véase, por ejemplo Gordon (1965):

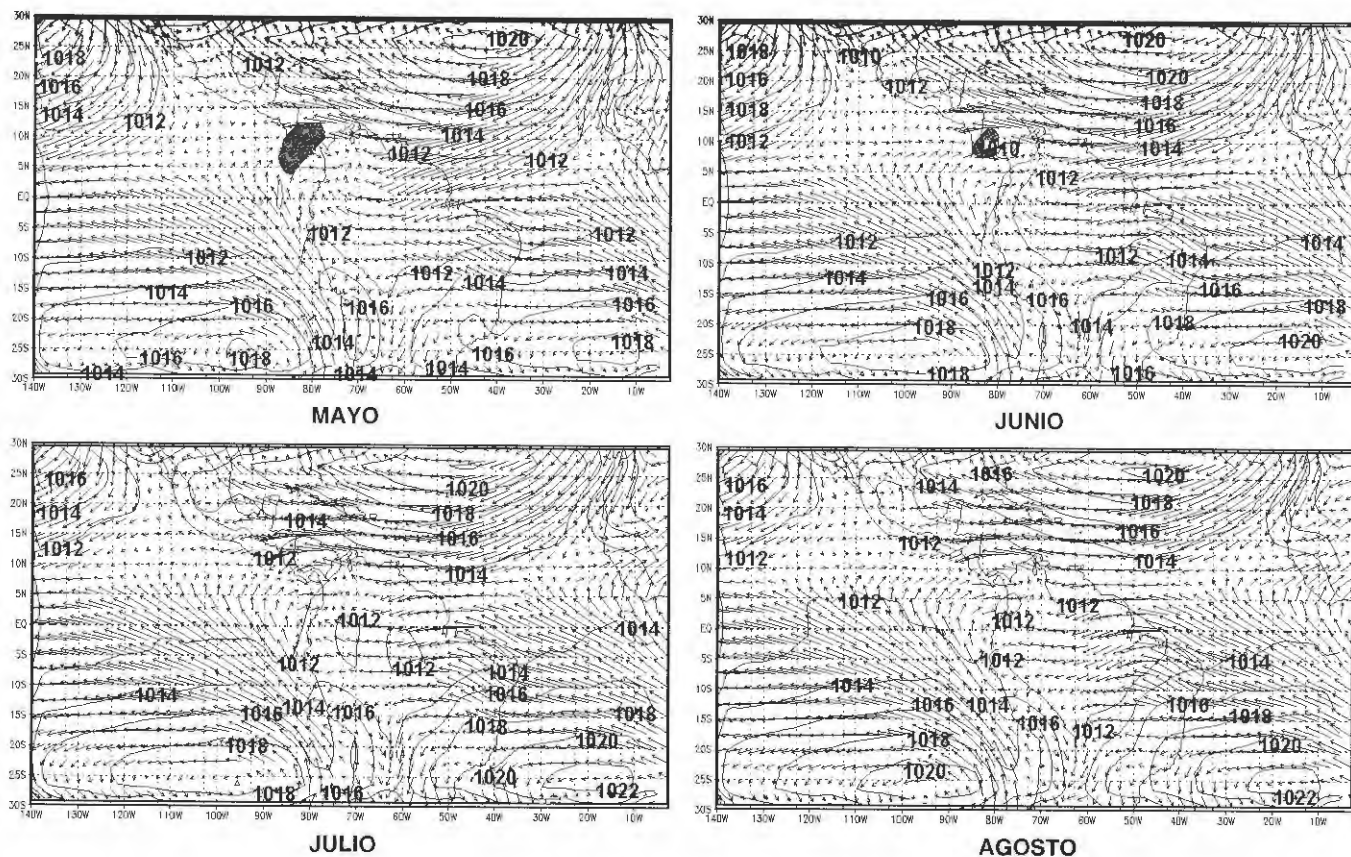


Figura 2b. Como en la Figura 2a.

$$\frac{V^2}{R} + fV = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (1)$$

Donde  $f$  es el parámetro de Coriolis,  $R$  es el radio de curvatura (de la isobara), el cual se considera negativo en una circulación anticiclónica,  $V$  es la velocidad del viento,  $n$  la normal a la isobara y  $\rho$  la densidad del aire. El término en el miembro derecho de la ecuación (1), representa la componente del gradiente de presión normal al flujo. La solución de esta ecuación cuadrática en  $V$  se escribe para el caso anticiclónico como:

$$V = \frac{fR}{2} - \sqrt{\frac{f^2 R^2}{4} - \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}} \quad (2)$$

La elección del signo negativo delante de la raíz, se debe a la restricción de que, cuando el gradiente de pre-

sión sea cero, el viento de gradiente  $V_{gr}$  también debe ser igual a cero.

Es fácil notar que cuando,

$$\frac{\partial p}{\partial n} > \frac{\rho R f^2}{4}$$

O lo que es lo mismo,

situación que puede presentarse en latitudes bajas donde el parámetro de Coriolis disminuye a medida que nos acerquemos al ecuador, la solución (2) se torna imaginaria y el viento de gradiente, como tal, deja de existir. Esto significa que el viento dejará de fluir a lo largo de las isobaras atravesándolas directamente desde la alta presión hacia la baja, tal como aparece en la región de vientos del noreste considerada anteriormente en las figuras 2-3. Así pues, la formación de la corriente CAO puede ser debida a la interacción, en latitudes bajas, entre el campo

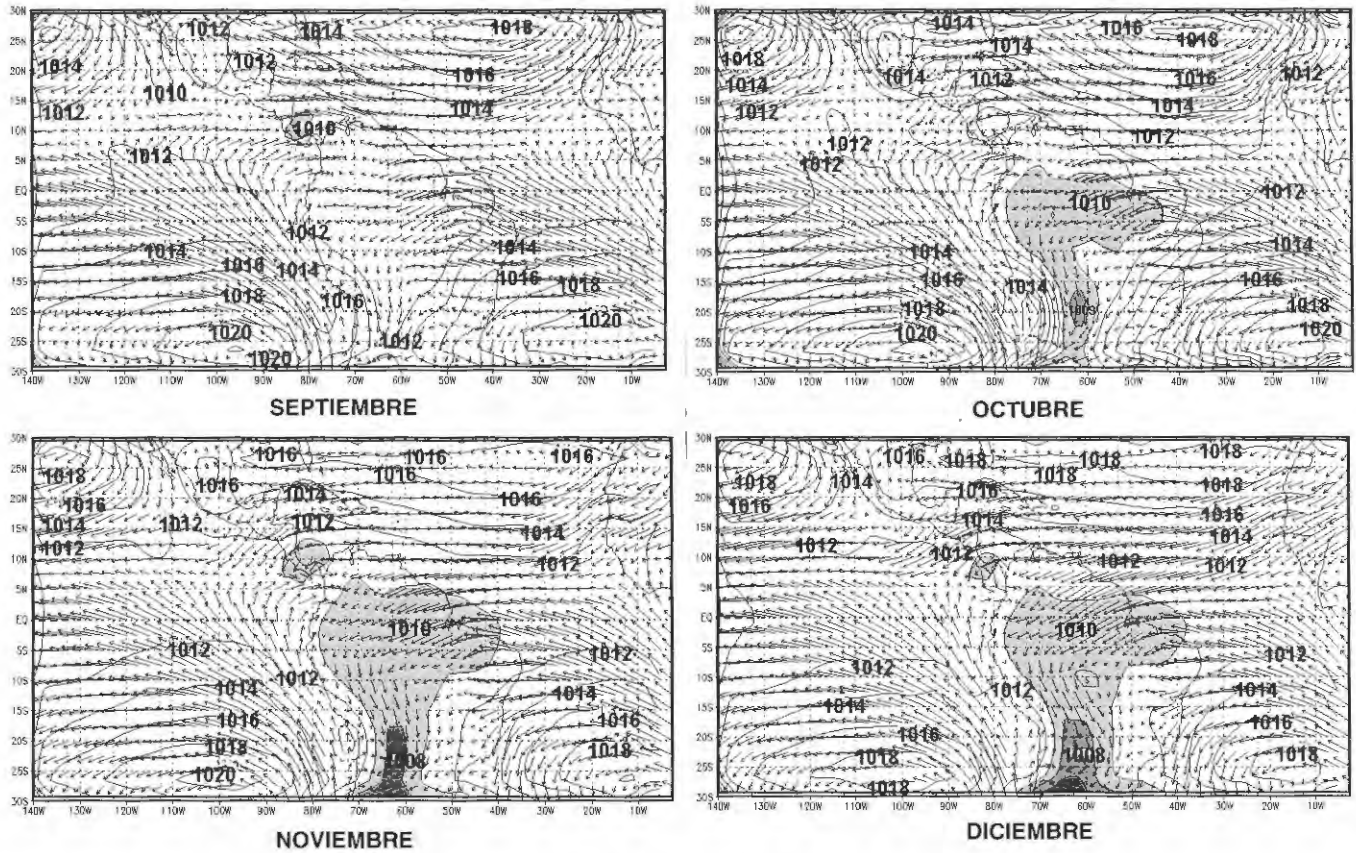


Figura 2c. Como en la Figura 2a

del viento generado en la alta del Atlántico norte y la baja presión desarrollada sobre el continente americano durante el invierno boreal (o verano austral). Debido a la dificultad en traspasar la cordillera de los Andes, esta corriente continúa su curso bordeando el piedemonte oriental de la cordillera.

### Conclusiones

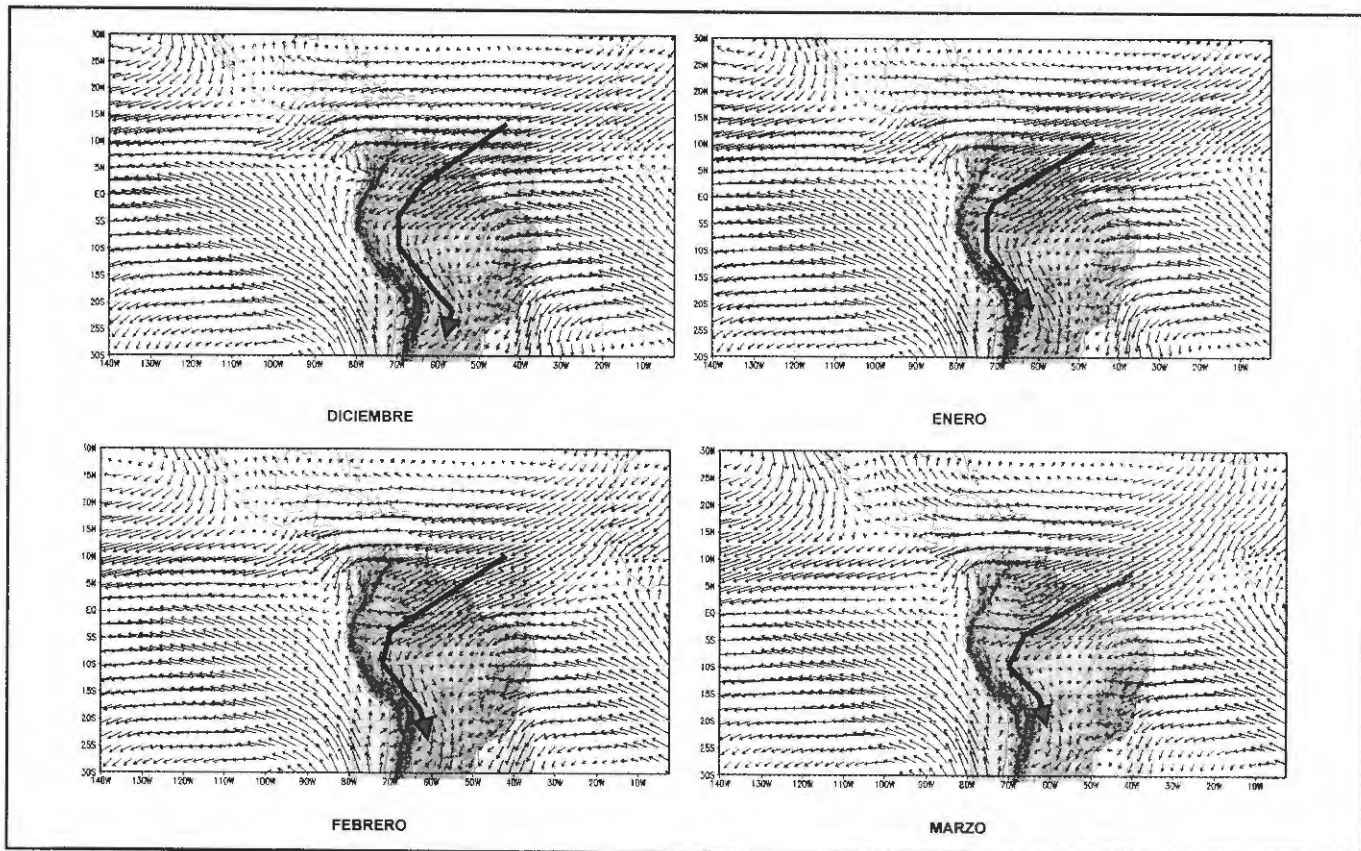
Los mapas confeccionados con la información del "Reanálisis" muestran una influencia, no vista en mapas anteriores de los vientos alisios del noreste sobre la parte norte de Sudamérica en la época del invierno boreal. La influencia de estos vientos se propaga hasta 5-10°S donde se confunden con una corriente que bordea los Andes orientales, que se propaga hasta latitudes subtropicales y que proponemos llamar en este artículo corriente CAO.

La acción de estos vientos parece estar relacionada con la vaguada ecuatorial que entra a formar parte de un sistema de baja presión más extenso, el cual se forma sobre el continente Sudamericano durante esta época del

año. Además, la interacción entre estos vientos del noreste y la vaguada, puede ser explicada por medio de la relación viento-presión para latitudes bajas.

Puesto que estos vientos son un eficiente mecanismo para el transporte de humedad, polvo, polen y otras partículas desde la costa occidental africana hasta el Caribe y norte de Sudamérica, la persistencia de ellos y la existencia de la corriente CAO durante el invierno boreal, puede tener profundas consecuencias en la modulación del ciclo hidrológico de la Amazonia y en la formación de su flora y su fauna.

De acuerdo con los mapas presentados, en las figuras 2-3, parece ser que la cordillera de los Andes constituye una barrea natural al desplazamiento de los vientos alisios. Particularmente, estos mapas sugieren que la humedad que alimenta los ríos amazónicos, en donde el máximo anual de precipitación se presenta entre diciembre y marzo, proviene en su mayoría del Océano Atlántico y no del Pacífico como se podría pensar, debido a su cercanía.



**Figura 3.** Vientos medios mensuales superpuestos sobre un mapa con indicación del relieve. La posición de la corriente CAO se resalta con una línea gruesa

Aunque para probar la existencia de esta corriente en el Piedemonte oriental andino se requiere realizar un trabajo más completo, que incluya experimentos de campo y otros métodos de comprobación, uno de los propósitos que busca esta publicación es llamar la atención sobre nuevos resultados obtenidos con ayuda del conjunto de datos llamado "Reanálisis", resultados aparentemente consistentes entre sí, de acuerdo con la exposición del trabajo.

### Reconocimientos

Este trabajo realizado por el Grupo de Investigaciones en Meteorología-U.N., que cuenta con el apoyo financiero de COLCIENCIAS y el BID, contratos COLCIENCIAS-U.N. No.391/99 y 364/2000. El mismo forma parte de los resultados del Proyecto "Proyecciones climáticas e impactos socioeconómicos del cambio climático en Colombia", contrato COLCIENCIAS-U.N. No. 321-98.

Expresamos nuestros agradecimientos a los Institutos: NCEP y NCAR de los EE UU, por el suministro de los datos del Reanálisis utilizados en este estudio.

### Referencias bibliográficas

- Acosta, Joseph, 1590. Historia natural y moral de las indias. Reimpresión. 1964, fondo de cultura económica, Méjico., 490 p.
- Atkinson, G.D. & J.C. Sadler. 1970. Mean cloudiness and gradient level winds charts over the tropics. USAF Air Weather Service. Technical Report No 215, vol I text, vol 2 Charts.
- Eslava, Juan G. 1992. El enigma de Colón y los descubrimientos de América. 1ª reimpresión, Edit. Planeta colombiana S.A., Bogotá, 247 pp.
- Gordon, A.H. 1965. Elementos de meteorología dinámica. Tr. al español por José Chávez Almanza, Uteha, México, 223 pp.
- Hadley, G. 1735. "Concerning the cause of the general trade winds" Philosophical transactions, 29. 58-62. (ver también traducción de este artículo en Meteorol. Colomb., (1): 95-96.
- Hastenrath, S. 1996. Climate dynamics of the tropics. 2ª Ed., Kluwer Acad. Press, Dordrecht, the Netherlands, 488 pp.
- Hellmann, G., (ed.), 1896. Neudrucke von schriften und karten über meteorologie und erdmagnetismus. No. 6, Berlin, asher & Co.
- Helmholtz, H. 1785. Wirbelstürme und gewitter. (ver traducción al español: Ciclones y tempestades. Meteorol. Colomb. (2):121-130.

- Kalnay, E., M. Kanamitsu & R. Kistler, 1996:** The NCEP/NCAR 40-years reanalysis project. *Bull. Am. Met Soc.*, 77: 437-471.
- Krishnamurti, T. 1979.** Compendium of meteorology, Vol. II, Part 4, Tropical meteorology. World Meteorological Organization, WMO No 364, Geneva, Switzerland, 428 pp.
- Lacoste, Y. 1992.** Atlas 2000, La France et le monde, Nathan. Imprime par Clerc S.A Saint - Amand, Montrond, France, 160 p.
- Neiburger, M., 1960.** The relation of air mass structure to the field of motion over the eastern north pacific Ocean in summer. *Tellus*, 12: 31-40.
- Riehl, H. 1979.** Climate and weather in the tropics. Acad. Press, London New York San Francisco, 611 pp.
- Riehl, H., T.C. Yeh, J.S. Malkus, & N.E. Leseur 1951:** The northeast trades of the pacific Ocean. *Quart Journ. Roy., Met. Soc.* 77: 598-626.
- & J. S. Malkus. 1957.** On the heat balance and maintenance of circulation in the trades. *Quart Journ. Roy., Met. Soc.*, 83, 21-29.
- Sverdrup, H.U. 1917.** 'Der nordatantische passat'. *Veroffentl. chungen Geophys Institut, Universitat Leipzig*, 2(1): 96 pp.
- Teisserenc de Bort, L., & L. Rotch, 1905.** 'Sur les preuves directes del l'existence du contralizé'. *Comptes rendues de l'Académie de Sciences*, 9 de octubre 1905, 605-612.
- US Department of Commerce. NOAA 1938.** Atlas of Climatological charts of the Oceans. US Government Printing Office, Washington D.C.