

## Condiciones Sinópticas de la Incursión de una Masa de Aire Frío en Sudamérica: caso julio 2000 y su impacto en la Selva Peruana.

**Grinia Avalos Roldán  
Nelson Quispe Gutiérrez**

**Centro de Predicción Numérica - Dirección de Meteorología Sinóptica  
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Senamhi  
Cahuide 785, Jesús María - Lima 11**

**gavalos@senamhi.gob.pe  
nquispe@senamhi.gob.pe**

### ABSTRACT

*This view is a physical analysis of the troposphere vertical structure, before, during and after Friaaje event, occurred in the 8th and 13th July 2000, utilizing the output of the Global Model of CPTEC. The event is initiated with an intense meridional perturbation at high atmosphere as a consequence of the Jet Stream intensification, setting a deep trough that advect negative vorticity to the surface since 2 days before to "D" day, generating cyclogenesis. The APS intensity configuration favored the cold advección, channeling the polar air to the south-oriental side of the Andes. The "D" day, the wedge on continent acquires an almost omega (?) configuration that reinforces the cyclogenesis and all frontal system located between Brazil and Argentina, this has intensified the interaction between low and high atmosphere system. The descent of the minimum temperature in the south forest of Perú began in the 12th July ("D" day).*

### RESUMEN

Se realizó un análisis físico de la estructura vertical de la troposfera, antes, durante y después del evento Friaaje, ocurrido entre el 8 y 13 de julio del año 2000, utilizando las salidas del Modelo Global de CPTEC. El evento se inicia con una intensa perturbación meridional en alta atmósfera como consecuencia de la intensificación de la Corriente en Chorro, configurándose una profunda vaguada que advectó vorticidad negativa hacia superficie 3 días previos al día D, generando ciclogénesis. La configuración e intensidad del APS, favoreció la advección fría, canalizando el aire de origen polar hacia el flanco sur-oriental de los Andes. El día D, la cuña sobre continente adquiere una configuración cuasi-omega (?) reforzando la ciclogénesis y al sistema frontal ubicado entre Brasil y Argentina, intensificándose la interacción entre los sistemas de baja y alta atmósfera. El descenso de la temperatura mínima en la selva sur del Perú empezó el día D-2 con 20.0° C cayendo hasta 8.3° C el día D.

### I. INTRODUCCION

En América del Sur se presentan ocasionalmente condiciones sinópticas muy características en las diferentes estaciones del año que afectan nuestro territorio, especialmente en los meses de poca precipitación en la sierra y selva del Perú (junio, julio y agosto). En estos meses, se observa la formación de sistemas sinópticos migratorios de alta presión en el sur del continente; siendo las más intensas en el mes de julio. Estas formaciones dinámicas se desplazan de sur a norte y fortalecen al frente frío, originado por una ciclogénesis.

Una de las regiones más afectadas por este evento es la selva peruana. Localmente, esta incursión de masa de aire polar fría y seca es conocido como "Friaaje", y produce descensos bruscos de la temperatura del aire hasta de 15° C en solamente horas; afectando la salud de la población y causando daños en los cultivos tropicales de la zona.

En la estación de invierno, el mes de julio es el mes más significativo. Toda la región sur del Perú (sierra y selva), son afectada por sucesivas e intensas invasiones de frentes de altas latitudes, que ocasionan precipitaciones y descensos bruscos de la temperatura del aire.

Fortune et al. (1982) analizaron los aspectos más importantes encontrados para las heladas de julio de 1979 y 1981, se destacan importantes precursores: una configuración de ondas largas observada en altos niveles se desplaza lentamente en el Pacífico, ampliándose entre 4 a 5 días antes de las heladas en Brasil. La cresta de onda larga, alcanza su mayor amplitud situándose por los andes, y la vaguada corriente abajo es localizada próximo a Brasil, sobre el Océano Atlántico Sur. Esta configuración canaliza el aire frío y frontogenesis hacia el centro del continente. La conclusión de los autores fue que la energía de perturbación en el Pacífico, en ambos casos propagándose con velocidades de grupo de ondas, contribuye para el desarrollo anormal de vaguada fría en América del Sur.

Marengo J. et al. (1997), manifiestan que las causas físicas están relacionadas con la entrada de un anticiclón de núcleo frío desde el Pacífico Este entrando a Sudamérica, posándose sobre los andes y moviéndose hacia el norte a lo largo del flanco oriental de los andes. Los resultados obtenidos sugieren que la fuerte erupción fría al sur de Brasil estaría asociado con un mecanismo de retroalimentación positiva e intensos flujos atmosféricos entre niveles altos y bajos cerca de los andes del sur y centro de Chile, antes del día más frío; consecuentemente la intensa profundización de la vaguada es producida a sotavento de los andes, en esas latitudes con la asociada advección fría de bajos niveles debido al flujo sur a lo largo del flanco oriental de los andes. Pareciera que la misma intensidad de retroalimentación también estaría relacionado a latitudes más bajas cuando el aire frío llega tarde.

Seluchi M. y Chan Chao (CPTEC/INPE), encontraron que las incursiones de aire polar hacia latitudes tropicales estuvieron ligadas a pasajes de intensos frentes fríos acompañados por anticiclones migratorios. Estos sistemas se desplazaron rápidamente siguiendo una trayectoria casi meridional debido fundamentalmente a la marcada componente meridional del viento en altura.

Nielsen, de la Universidad de Texas, estableció un criterio usando una escala de temperaturas para distinguir los máximos de viento. Haciendo un corte transversal del Jet, la temperatura potencial media asociada a masas polares es de 320° K y al Jet Subtropical de 340° K. En el continente Sudamericano se ha observado que la rama polar se puede subdividir aún más. Típicamente, la rama polar norte se caracteriza por temperaturas de 330° K, mientras que la rama polar sur es más típica de los 320° K o menos dependiendo de la temporada del año.

En el presente trabajo se analizarán las características físicas del evento Friaje ocurrido entre el 08 al 13 de julio del 2000, utilizando las corridas del Modelo Global del Centro de Predicción del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) del Instituto de Pesquisas Espaciales (INPE) de Brasil.

## II. METODOLOGÍA

La descripción de la situación sinóptica se realizó a través del análisis de superficie. Para explicar el comportamiento dinámico de la troposfera, se utilizó las salidas en archivos grb del Modelo Global de CPTEC, y para generar los gráficos se utilizó el visualizador GRADS. Usamos este modelo porque nos brinda el dominio más apropiado para analizar la evolución de los sistemas sobre latitudes altas. Asimismo, se trabajó con información de precipitación y temperaturas extremas de cinco Estaciones Meteorológicas de la selva peruana y una de Brasil.

El análisis de altura se basa en los conceptos de advección de vorticidad e intensificación del Chorro Adveectivo principalmente, para explicar el importante papel que cumplen éstos en la retroalimentación positiva de los flujos de alta y baja atmósfera.

El periodo de estudio se indica en la siguiente tabla:

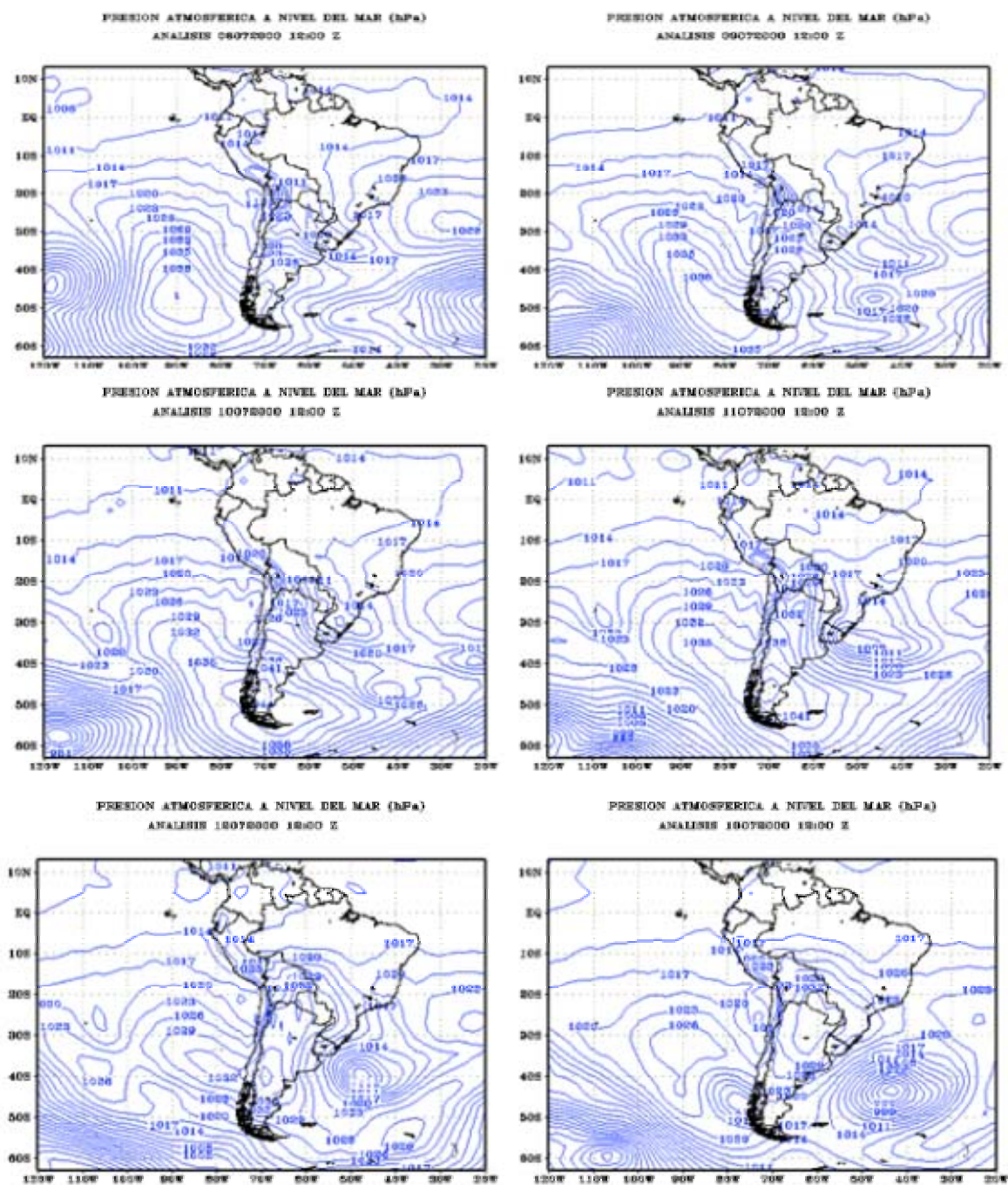
Tabla1.

Días de estudio	08Jul00	09Jul00	10Jul00	11Jul00	<b>12Jul00</b>	13Jul00
Denominación	D-4	D-3	D-2	D-1	<b>D</b>	D+1

### III. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### a. Análisis de superficie

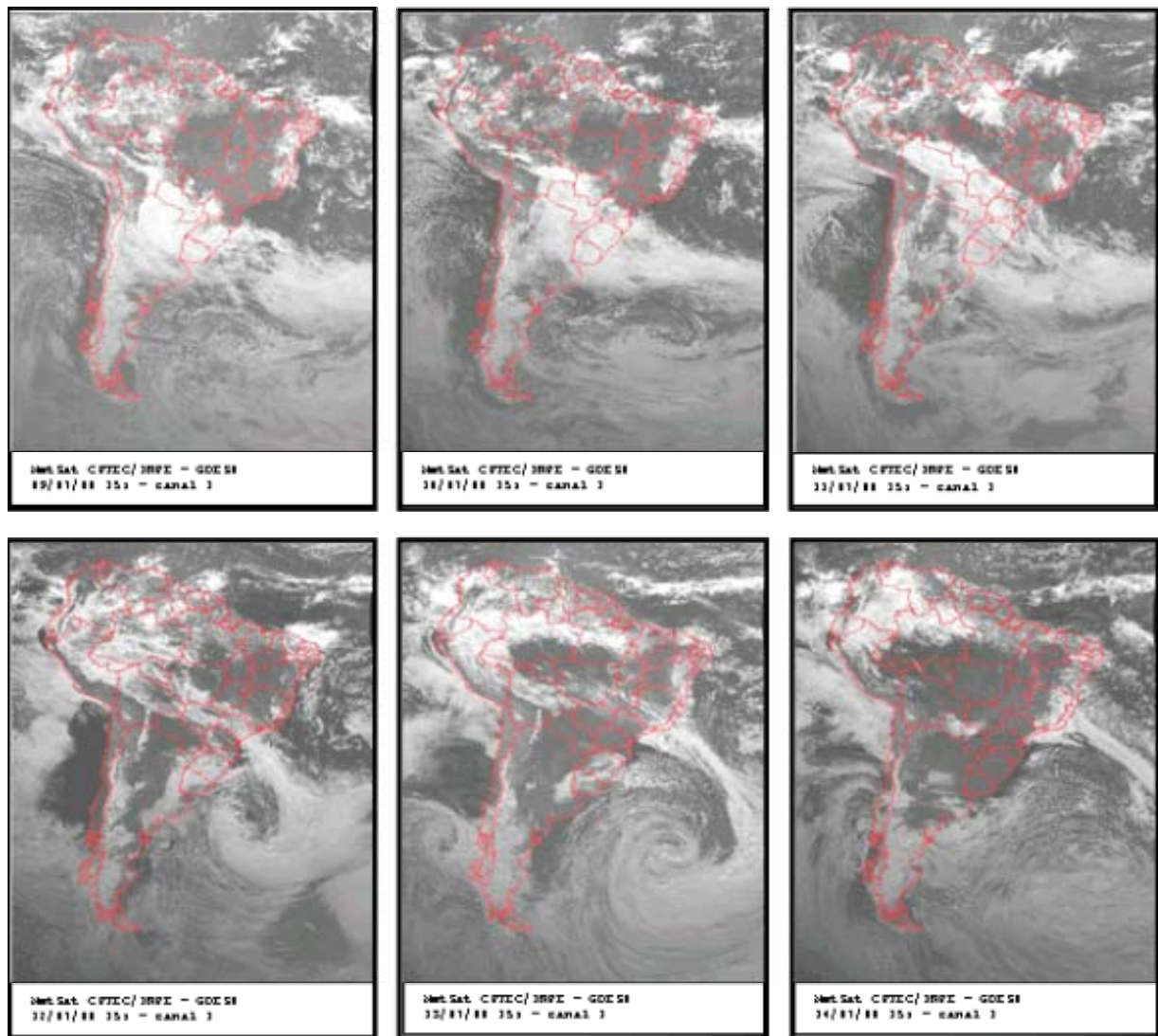
El análisis de superficie muestra la evolución de un sistema frontal originado por una ciclogénesis al sur de Brasil y el ingreso a continente de un sistema de alta presión migratorio con características de masa de aire de origen polar. Ver Fig. 1



**Fig.1: Análisis isobárico. El día D-3 la cuña asociada al Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se intensifica sobre continente (1036 hPa). El día D+1 se desprende la alta migratoria con un centro de 1032 hPa posicionada entre Argentina y Paraguay.**

El día D-4, ingresa a continente una cuña (1029 hPa.), como consecuencia de la intensificación del APS, extendiéndose posteriormente hasta generar una alta migratoria al norte de Argentina (1035 hPa) el día D+1. Paralelo a la intensificación de la cuña, se produce una ciclogénesis (30 ° S 50° W) a partir de día D-2, inducido por una fuerte advección de vorticidad en altura. El sistema frontal reforzado (1008 hPa) se extiende a lo largo de la zona norte de Argentina, sur de Brasil, Paraguay y Uruguay, desplazándose hacia el noroeste e ingresando por el sureste del Perú el día D-1. (Ver imágenes)

El día D el sistema de alta se extiende en gran parte de Argentina ingresando una cuña a la región tropical (Selva boliviana, brasileña y peruana) y desplazando al frente frío hacia el sureste de su posición inicial, el cual provocó la intensa advección térmica fría disminuyendo bruscamente la temperatura del aire en la selva sur peruana, que posteriormente se estabilizará por el ingreso de la cuña del sistema de alta migratoria. El sistema de baja presión se desplaza hacia el sureste (Atlántico), afectando ligeramente la zona sur de Brasil con precipitaciones y chaparrones.



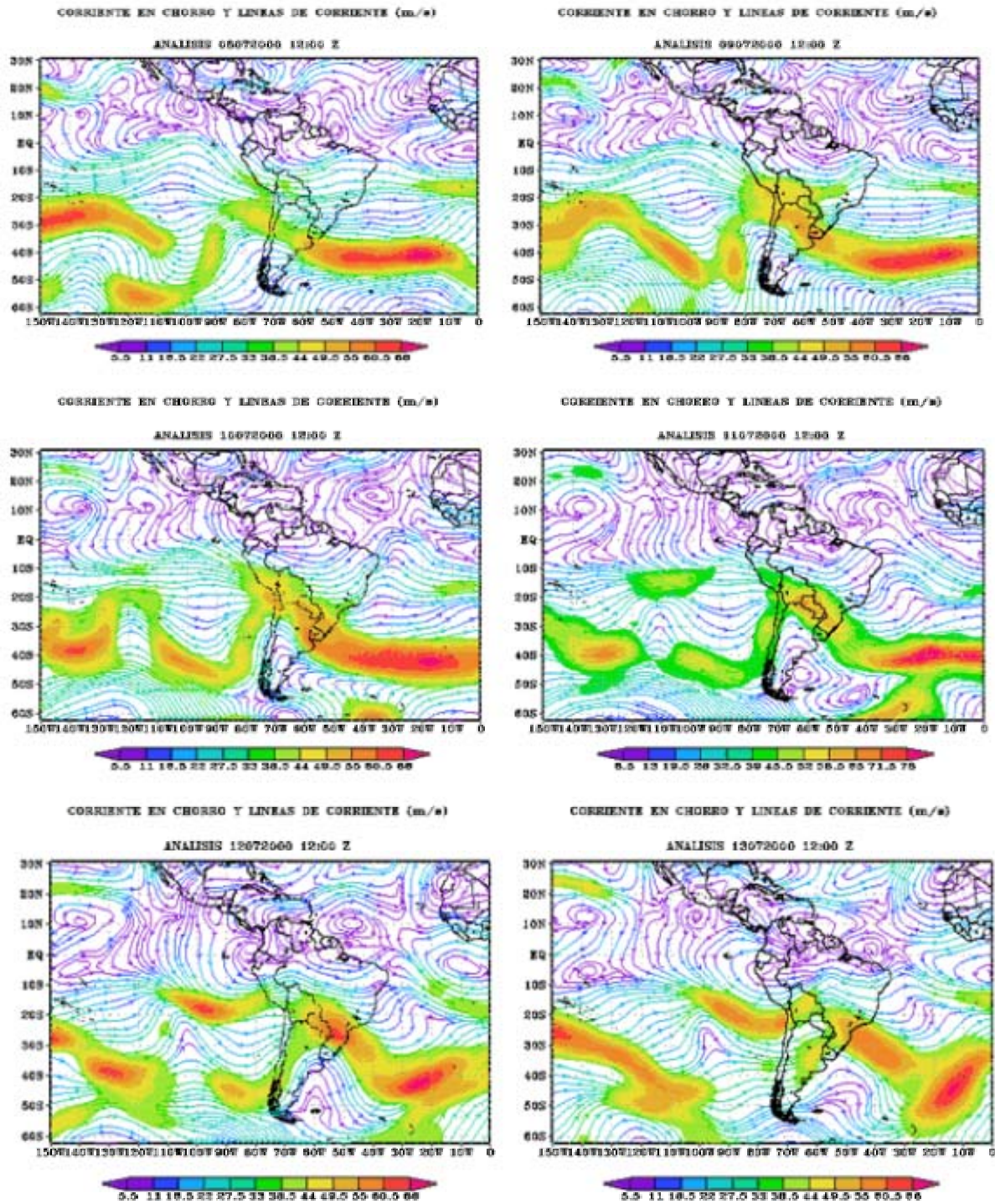
**Imágenes: El denominado "Pozo de los Andes", se configura a partir del día D, cuando la cuña empuja al sistema de baja presión y se desprende la alta migratoria, generando un área de escasa nubosidad sobre la llanura Argentina.**

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS), presenta vientos meridionales predominantes del sur en su lado Este, lo cual es importante para la canalización del aire frío por las partes bajas de la vertiente oriental sur de la Cordillera de los Andes, haciendo que el gradiente isotérmico se direcciona de sur a norte, y las temperaturas mínimas más bajas se registren al norte del núcleo de la alta.

## **b. Análisis de la estructura vertical de la Troposfera**

### **• Análisis de la Corriente en Chorro**

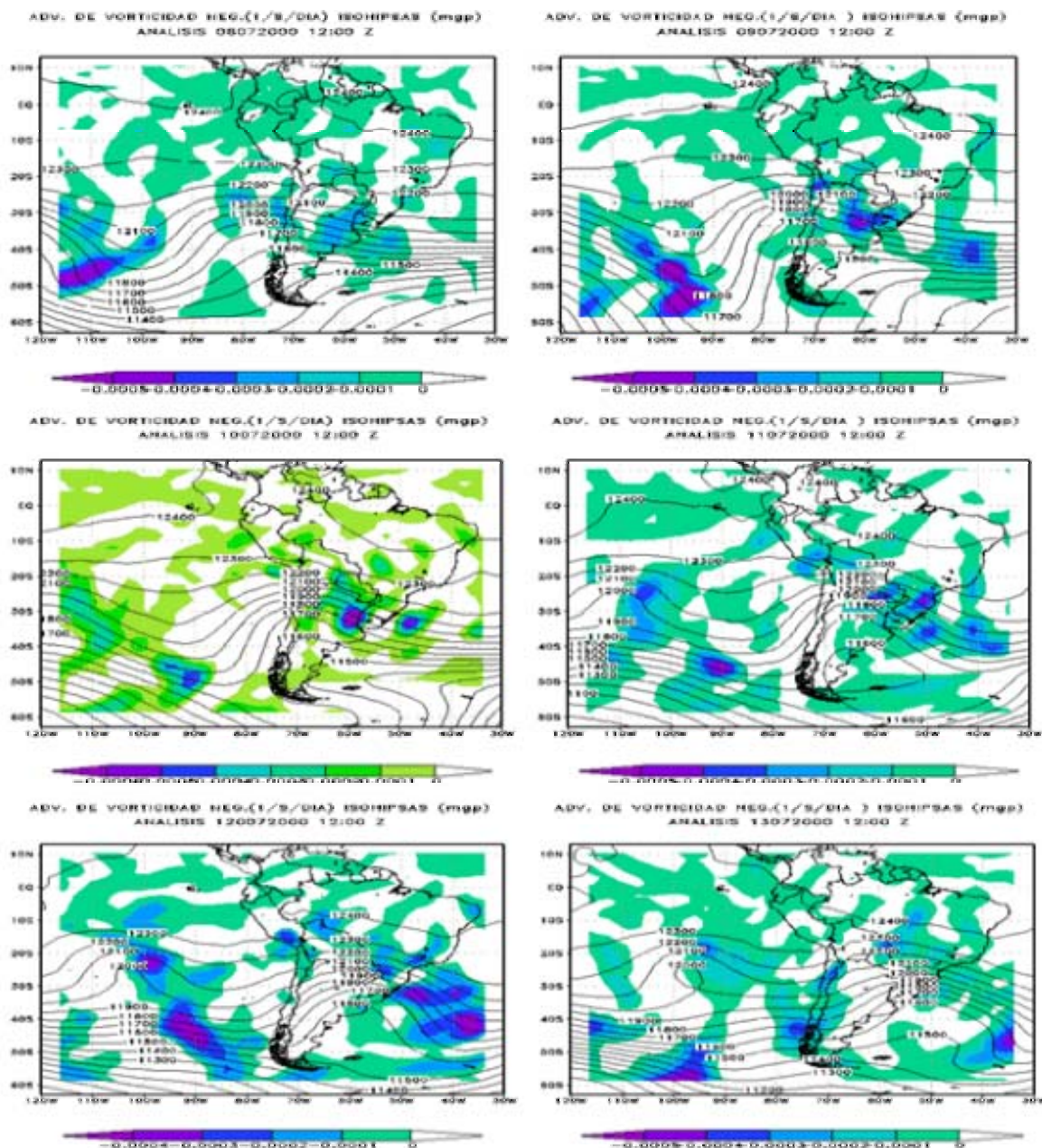
Las intensas perturbaciones meridionales en alta atmósfera fueron las que definieron la formación y el comportamiento de los sistemas en superficie. El día D-4, los ramales polares sur y norte de la Corriente en Chorro, forman una vaguada pronunciada. La rama polar sur se ubica a lo largo de los 50°S-95°W a 32°S-90°W, con intensidades de viento de hasta 45 m/s.; la rama polar norte se extiende a lo largo de los 25°S-80°W a 35°S-60°W con intensidades de viento de hasta 50m/s. En los siguientes días esta vaguada se va intensificando a medida que ingresa a continente, y el núcleo del Chorro incrementa su intensidad hasta por encima de los 65 m/s en el día D. Ver Fig. 2.



**Fig. 2: Corriente en Chorro y líneas de corriente. El día D-2, el Chorro se torna meridional (entre 25°S y 45°S) y la vaguada empieza a intensificarse. El día D ambos interactúan intensamente advectando horizontal y verticalmente vorticidad (-) hacia superficie.**

• *Análisis de advección de vorticidad - cortes transversales*

Mientras que la parte delantera de la vaguada con la presencia de un Chorro advectivo cumple un papel importante advectando horizontal y verticalmente vorticidad (-) hacia la superficie y ayudando a la succión de aire en alta atmósfera generando una ciclogénesis al sur de Brasil y al noreste de Argentina, una cuña muy intensa en superficie se extiende hacia el norte (ver Fig.1), formando una alta migratoria en continente impulsado por la advección de vorticidad (+) de la parte posterior de la vaguada en alta atmósfera. El día D-3 aparece una zona de advección de vorticidad (-) al norte de Chile debido a la profundización de la vaguada y posición meridional del Chorro; el día D-1, una región con valores negativos de advección de vorticidad se ubica sobre el sur del Perú, para intensificarse el día D con valores de hasta  $-3.5 \times 10^{-4} s^{-1}$ . Ver Fig. 3

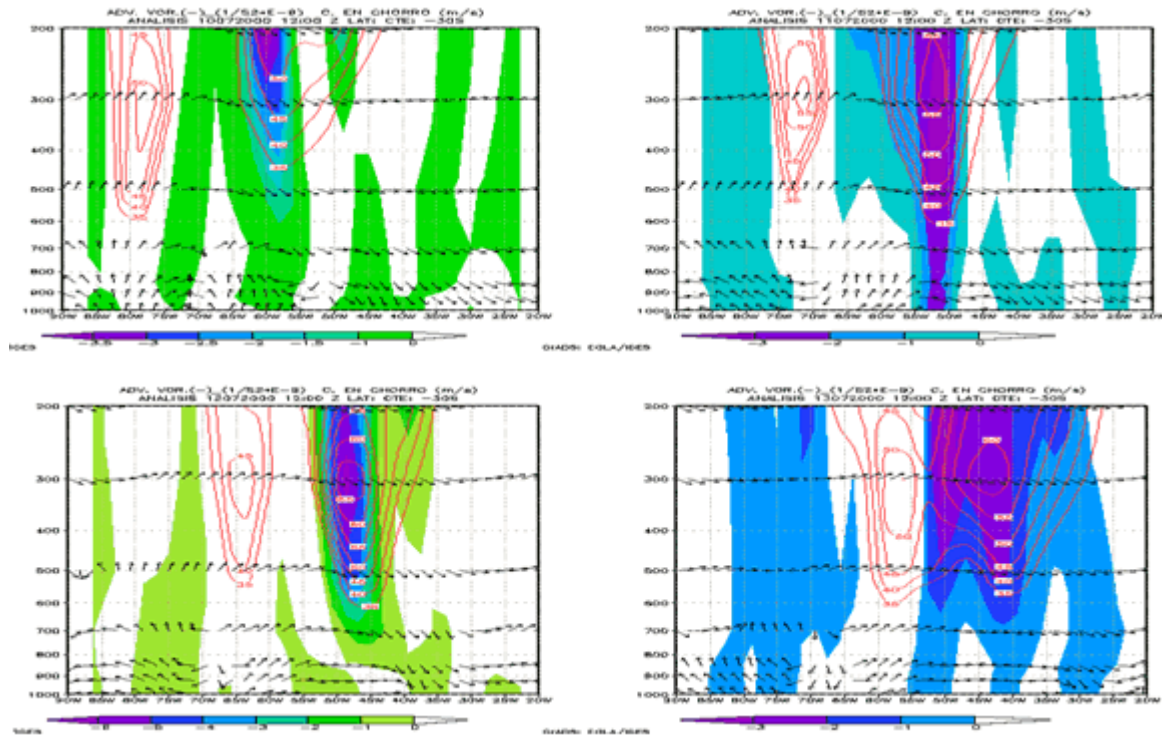


**Fig. 3: Advección de vorticidad e isohipsas. Notar que los valores más negativos están relacionados con un sistema de baja en superficie. El día D el área con valores negativos de advección de vorticidad es mayor. El día D+1 los vórtices positivos (10-4s-1) alimentarán la alta migratoria de superficie ayudando su transporte en dirección noreste.**

En la siguiente figura se presenta un corte de sección transversal en los 30° S. Se puede apreciar al Chorro (55°W) advectando vorticidad negativa, a partir del día D-2. En los siguientes días, el desplazamiento de la vaguada hacia el este induce una intensa advección de vorticidad hacia superficie. El día D-2 la influencia de la advección de vorticidad vertical es ligera, llegando solo hasta los niveles medios y manifestándose con débiles vórtices ciclónicos del flujo de bajos niveles. Ver Fig. 4

El día D-1 la vaguada se intensifica más, y el Chorro induce una mayor advección de vorticidad negativa hasta los niveles bajos. Se puede notar un cambio en el rotacional del vector viento, intensificando el sistema de baja en superficie. (50°W-45°W).

El día D se puede apreciar que el sistema ciclónico en superficie, se extiende sobre una mayor área (O. Atlántico, 60°W - 40°W). Sin embargo, la advección de vorticidad desde los niveles altos, solo llega hasta los 750 hPa.

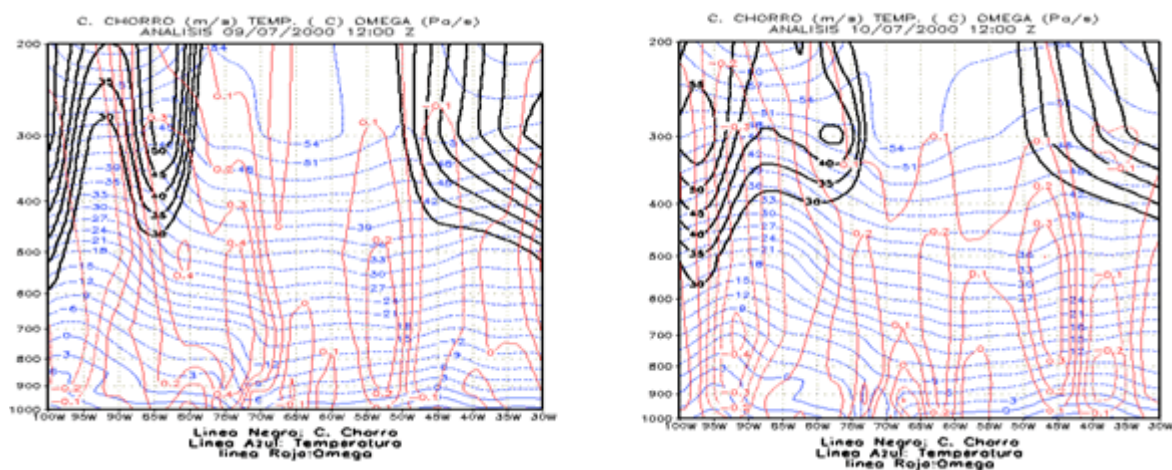


**Fig. 4: Corte transversal de la Corriente en Chorro y Advección de vorticidad a 30°S. Nótese que la advección de vorticidad (-) hacia superficie se inicia el día D-2 con la consecuente variación del giro del vector viento en superficie el día D.**

• *Hundimiento de la Tropopausa y análisis de espesores*

La intensa vaguada con una formación sinuosa pronunciada debido a los intensos Chorros de rama polar sur y norte, generan vórtices convergentes dentro de ella, induciendo el hundimiento de la tropopausa, que a su vez genera estabilidad y subsidencia hacia la superficie, intensificando el sistema de alta fría en continente.

En la Fig. 5, se tiene un corte transversal a 45°S. Es notorio la intensificación del Chorro y su desplazamiento hacia el este así como también el desplazamiento del hundimiento de la tropopausa. Esto último lo podemos observar a través del análisis de isotermas en niveles altos (líneas azules punteadas) durante los días D-3 y D-2. Los valores más negativos de omega (líneas rojas continuas), indican mayor inestabilidad, en consecuencia la dilatación atmosférica se presenta al oeste (90°W -95°W), ya que la atmósfera está más cálida y húmeda.



**Fig. 5: Corte transversal en 45°S. Corriente en Chorro, temperatura y velocidad vertical (?). El área comprendida entre el Chorro Polar de rama sur y rama norte provoca el hundimiento de la tropopausa debido a los intensos vórtices que genera la parte interna de la vaguada.**

En el diagrama de Hovmoller que se muestra a continuación, se puede observar el debilitamiento del espesor de la capa 500/1000 a partir del día D-4. Los vórtices convergentes en niveles medios y altos de los intensos Chorros advectivos generan una columna de menor espesor (región azul-púrpura) a partir del día D-3 y a 75°W, lo cual es coherente con el hundimiento de la tropopausa (Fig. 5), y la intensificación de la subsidencia atmosférica. El día D la capa adquiere un espesor de solamente 5250 mgp como consecuencia del ingreso de la masa de aire de origen polar en superficie, que favoreció la compresión de las capas de la troposfera, permitiendo a su vez el mayor ingreso de aire frío.

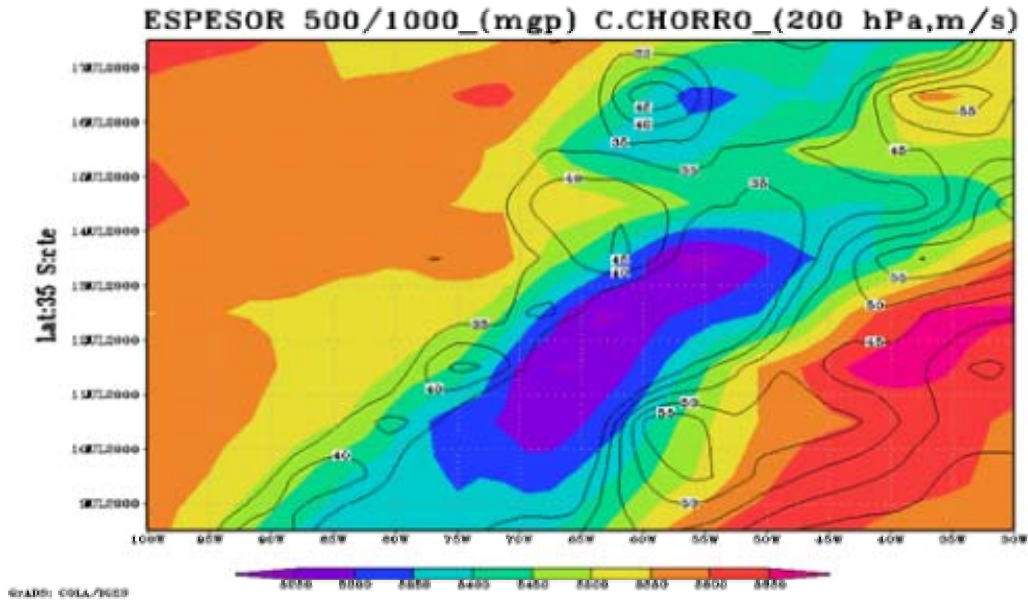


Fig. 6: Espesores y Corriente y C. Chorro (diagrama de Hovdmoller). El aire frío que ingresa en superficie hace que capas de la troposfera se contraigan. La región púrpura indica el periodo de mayor advección fría en superficie.

**a. Interacción de los niveles bajos y altos de la Troposfera**

La Fig. 7 se presenta un corte transversal a 35°S en donde se aprecia la evolución del ingreso del sistema de alta presión en continente; ésta, se va intensificando para el día D con un núcleo de 1035 hPa (65°W – 70°W) amenguando en los siguientes días. También es evidente la formación del sistema de baja presión (48°W) con un núcleo definido de 1008 hPa para el día D-1. La formación del sistema de baja no tiene coincidencia con el primer pulso de advección de vorticidad desde la alta atmósfera (Fig. 7.a), esto debido a la fuerte canalización de advección térmica fría en superficie (Fig. 7.b), produciéndose un equilibrio entra baja y alta atmósfera entre los días D-3 y D-2. Se aprecia que la formación de este sistema de baja se da partir del día D-2 ya que la advección de vorticidad presenta mayor influencia hacia la superficie.

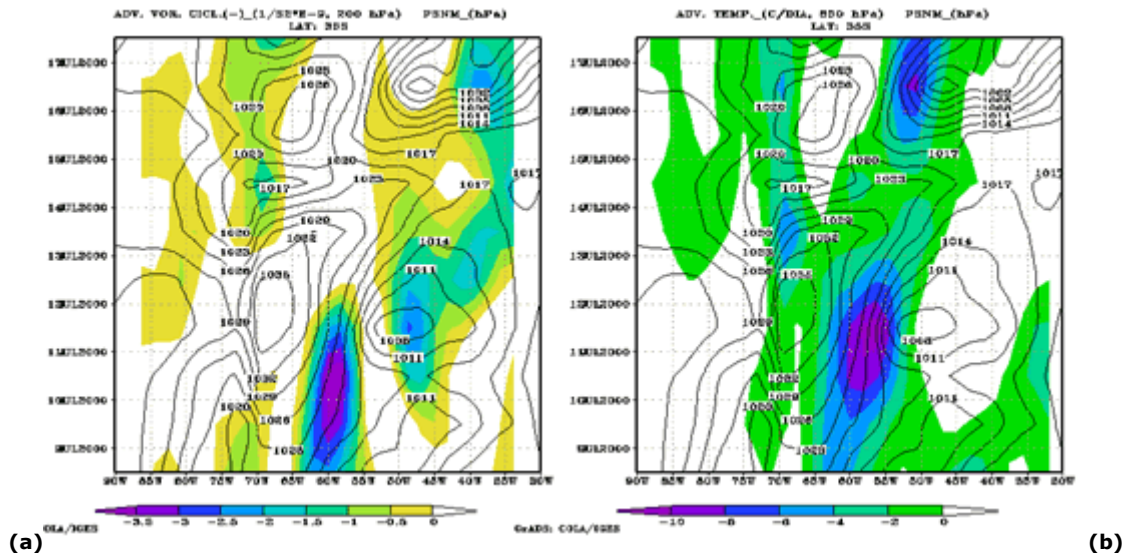


Fig. 7: (a) Advección de vorticidad y presión en superficie, (b) Advección de temperatura y presión en superficie. La intensa advección de vorticidad ciclónica (-) de niveles altos a niveles bajos, al sureste de la Alta, generó una ciclogénesis en superficie, esto a su vez incrementó el gradiente de presión en superficie (7.a), favoreciendo la canalización de aire frío hacia el flanco oriental de la Cordillera de los Andes (7.b), esto a su vez estimuló la profundización de la vaguada en altura, generándose una retroalimentación entre la alta y baja atmósfera.



## b. Impacto en la selva peruana

El ingreso del sistema frontal en la selva sur se produce el día D-1, ubicándose detrás de la Estación Puerto Esperanza (09°45' S) y delante de la Estación Puerto Maldonado (12°35' S). En la siguiente figura, se aprecia el diferente comportamiento atmosférico entre las dos estaciones, y como es de esperar, las precipitaciones más intensas ocurren delante del sistema frontal (Est. Puerto Esperanza) con un acumulado de 50 mm en solamente 12 horas. En la Est. Puerto Maldonado, las precipitaciones fueron muy ligeras (lloviznas), acumulando solamente 4 mm (ver imágenes sateliticas incluidas). Además, ésta es la primera en recibir el impacto de la advección térmica fría, y comparativamente con las demás estaciones, se dio el descenso más severo de la Temperatura Mínima del aire. Ver Fig. 8

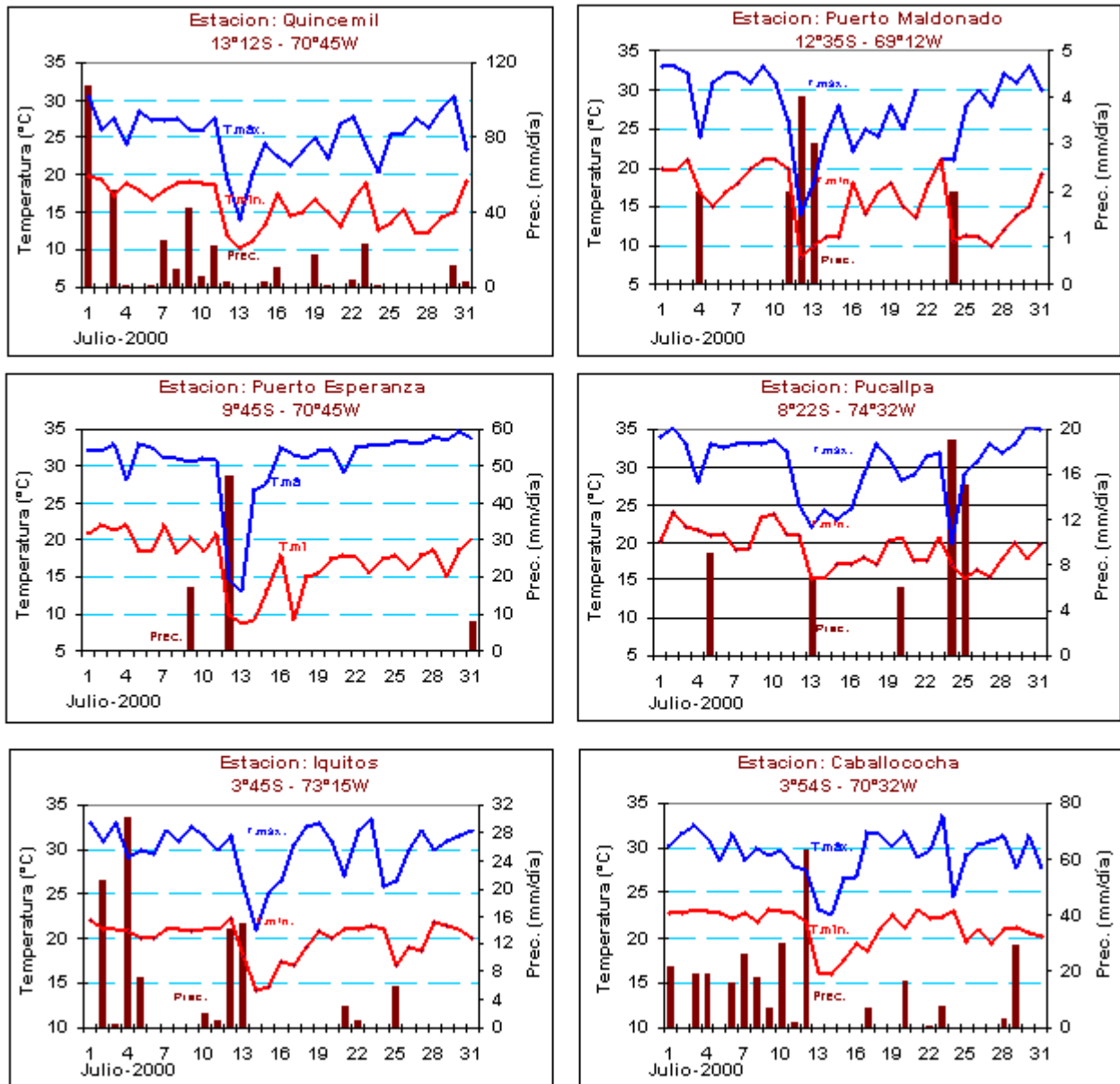


Fig. 8: Variación diaria de las temperaturas extremas y precipitación en la Selva Peruana durante el mes julio del 2000.

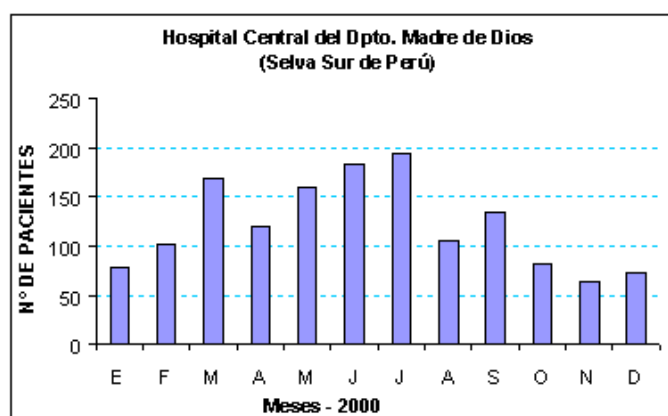
El desplazamiento de la advección térmica fría a lo largo de la Amazonía peruana, se da de sur a norte tal como se puede apreciar en la tabla 2. La Est. Quince mil muestra la ocurrencia de la su mínima absoluta un día después del día D por estar ubicada al oeste de la Est. Pto. Maldonado .

La alta migratoria se posiciona en continente extendiendo una cuña a lo largo de la selva peruana generando estabilidad, debido a ello presenta condiciones de nubosidad baja, poca visibilidad y ocurrencia de lloviznas. Es el caso de la Est. Quince mil, en donde por lo general llueve entre 60mm y 120mm al día (dependiendo de la estación de año). Posterior al día D se presentaron lloviznas y lluvias de poca intensidad.

**Tabla 2. Temperaturas Mínimas Absolutas durante el Friaje en la selva peruana**

Día	11	12	13	14	15
Estación	Temp. Mín. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Mín. (°C)
Quincemil	18.3	12.0	<b>10.3</b>	11.6	13.5
Pto. Maldonado	20.0	<b>08.3</b>	10.1	11.8	11.8
Pto. Esperanza	21.5	10.0	<b>08.6</b>	09.0	18.0
Pucallpa	21.1	21.1	<b>15.0</b>	15.2	17.0
Cabalcocha	22.5	21.8	16.4	<b>16.0</b>	19.0
Iquitos	21.5	22.5	17.0	<b>14.0</b>	14.9

Un impacto de carácter social del Friaje se da en la salud, especialmente en la de los niños y adulto mayor. El descenso brusco de las temperaturas es el factor determinante para el desarrollo de las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs), provocando en algunos casos la muerte. En la siguiente figura se observa que durante el mes de julio, el número de personas afectadas por neumonía fue alrededor de 200, siendo uno de los factores principales el descenso brusco de las temperaturas. Ver Fig. 9



**Fig. 9 : Comportamiento de las neumonías durante el año 2000. Fuente: DISA – Hospital Central de Madre de Dios.**

## V. CONCLUSIONES

La intensa perturbación meridional en alta atmósfera se da como consecuencia de la intensificación de la Corriente en Chorro, intensificando la vaguada con una formación sinuosa pronunciada, convirtiéndose ésta en precursora de la advección de aire frío en niveles bajos.

La alta migratoria se desplaza hacia el norte por la advección de vorticidad anticiclónica que genera la parte posterior de la vaguada en niveles altos, coincidente con la intensificación del Chorro de rama polar sur.

La invasión de masas de aire frío de origen polar, es canalizada a sotavento de la Cordillera de los Andes debido a la configuración e intensificación de la cuña en superficie, originando la disminución de los espesores geopotenciales sobre el área de la alta lo que a su vez sigue favoreciendo la invasión. La alta se va intensificando generando mayor gradiente isobárico con el sistema de baja, contribuyendo al fortalecimiento de los vientos meridionales e intensificación de la advección.

En los días D-2, D-1 y D, la vaguada se torna estacional; es decir, no tiene un desplazamiento hacia el este debido al equilibrio entre la advección de vorticidad negativa (cyclónica) generada por la vaguada, y por la advección térmica fría en bajos niveles. Esto último, genera subsidencia a partir de los 700 hPa, y a partir de este nivel también se genera succión desde los niveles altos debido a la fuerte advección de vorticidad negativa, iniciándose un proceso de retroalimentación del sistema durante los días de estacionalidad de la vaguada.

Los descensos bruscos de temperatura en la selva del Perú son debido a la fuerte advección de aire frío producto del ingreso de un sistema frontal. Este descenso se estabiliza debido al ingreso de la cuña de la alta migratoria, provocando cielos cubiertos con nubosidades bajas tipo estratiforme, neblinas y lloviznas. Asimismo, los descensos más fuertes se presentaron en la selva sur (Estación Puerto Maldonado), afectando la salud de un sector de la población.

**Agradecimiento:** Los autores desean agradecer al Servicio Nacional de Meteorología del Perú, al Dr. Odón Sánchez de la Universidad de Sao Paulo y al CPTEC de Brasil.

## REFERENCIAS

- Ambrizzi, T., y A. B. Pezza, 1999: Cold Waves and the Propagation of Extratropical Cyclones and Anticyclones in South America. A Synop-Climatological Overview. Revista Geofísica, 51, 45-67.
- Calle, M. V., 1991: Incursión de un Frente Frío en la Selva Peruana y su efecto en los Cultivos. Tesis UNALM, Ing. Meteorólogo, 95pp.
- Celemín, A., 1984: Meteorología Práctica. Servicio Meteorológico Nacional, Mar del Plata, 316pp.
- García, V., 1979: Circulación Atmosférica Sudamericana. Tesis UNALM, Ing. Meteorólogo, 128pp.
- Elizaga, F. et al.: Imágenes de vapor de agua, uso en el diagnóstico de niveles altos. Website INM-ESPAÑA
- Holton, J.R., 1972: An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press, New York. 423pp.
- Marengo J. 1983: Estudio Agro climático de la zona de Genaro Herrera (Requena - Loreto) y climático en la selva baja norte del Perú. Tesis UNALM, Ing. Meteorólogo, 464pp.
- \_\_\_\_\_. 1984: Estudio Sinóptico Climático de los Frijales (Frijales) en la Amazonía Peruana. Revista Forestal del Perú.
- \_\_\_\_\_. y A. Cornejo, P. Satyamuti, C. Nobre, 1997: Cold Surges in tropical and Extratropical South América: The Strong Event in June 1994. Monthly Weather Review 125, 2759-2783.
- Pezza A. B. y T. Ambrizzi, 1999: Um Estudo das Fluctuacoes de Temperatura para o Período de Inverno na América do Sul, correlacionando a Patagonia como o Sul do Brasil. Revista Brasileira de Meteorología, 14, 23-34.
- \_\_\_\_\_. y \_\_\_\_\_, 2000: Polar Outbreak in South America and the Propagation on Extratropical Cyclones and Anticyclones: A Climatological point of View. Sexta Conferencia Internacional de Meteorología y Oceanografía del Hemisferio Sur. Santiago, Chile.
- Pezzi, L. P., et al, 1996: Corriente en Chorro sobre América del Sur. Website CPTEC/INPE.
- Satyamurty, P., y C. Nobre. Climatología de Sud-América. Website CPTEC/INPE.
- Seluchi M., y S. Chan Chou. Intercambios de masas de aire entre latitudes tropicales y extra tropicales de Sudamérica: Validación del modelo regional ETA. Website CPTEC/INPE, 26pp.
- Trebejo, I., y A. Díaz, 1998: Análisis de la Precipitación en el Perú durante 1993 a 1997, 108pp.

**[ram@meteored.com](mailto:ram@meteored.com)**