

# VORTICE CICLONICO EN BAJOS NIVELES CASO ESTUDIO: 09 DE FEBRERO DE 2004

Nelson Quispe Gutiérrez  
Perú – Octubre, 2004  
[nquispe@senamhi.gob.pe](mailto:nquispe@senamhi.gob.pe)

## RESUMEN

En este trabajo se describe la intensificación de un vórtice ciclónica bajos niveles (VCBN) sobre el noreste de Bolivia, éste tiene su génesis en un vórtice ciclónico de altos niveles (VCAN) sobre el este de Brasil que en su desplazamiento hacia el oeste se va extinguiéndose en niveles mas bajos (700 hPa). El VCBN es apoyado por flujos del norte y del sur proporcionándole mayor circulación. Estos flujos advectaron masas de aire, siendo el desplazamiento de flujos del norte las transportadoras de aire húmedo y cálido y los flujos del sur de aire frío y seco. El encuentro de estos dos flujos favorecieron la intensificación del VCBN que contribuyeron a la formación de núcleos convectivos y generación de lluvias persistentes en las zonas altas de Los Andes del Perú (Sierra sur).

## I INTRODUCCION

El mayor porcentaje de precipitación que presenta el Perú es de origen convectivo, siendo ésta precipitación en el verano austral. Una de las características geográficas más resaltantes del territorio peruano es la cordillera de los Andes que se extiende a lo largo del país permitiendo que los vientos alisios, provenientes del Atlántico Norte que fluyen hacia el oeste sean bloqueados por Los Andes orientales de Colombia y Perú rotando gradualmente al noreste y al sureste de los Andes. Así también cerca del 80% de la precipitación altiplánica se concentra entre los meses de noviembre y marzo, con un máximo climatológico en el mes de enero (Garreaud, 2001).

La atmósfera en Sudamérica presenta ciertas características dominantes en el verano, a saber: La Alta de Bolivia, observado primero por Gutman y Schwerdtfeger (1965) y confirmado por Virgi (1982); una circulación ciclónica cerca al noreste de la costa de Brasil (BNE), estudiado por Kouski (1982) y la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) estudiado por Casarim e Kousky (1986); Kalnay et al. (1986); Quadro (1994) y otros.

Los VCAN pueden ser clasificados de dos maneras: vórtices do tipo Palmén, que se origina en latitudes subtropicales y los vórtices do tipo Palmer, también llamados vórtices de origen tropical por originarse en esta región. Los vórtices ciclónicos de origen tropical se forman en los meses de primavera, verano y otoño, pasan la mayor parte de sus vidas en los trópicos (Palmer, 1951).

Los VCAN son definidos como sistemas sinópticos cerrados de baja presión que se forman en alta troposfera (Gan y Kouski, 1982). Estas son comúnmente llamadas bajas frías, pues presentan centro mas frío que la periferia. La mayoría de los vórtices ciclónicos de alta troposfera están confinadas en altos niveles (encima de 5000 m de altura), pues cerca de 60% alcanzan el nivel de 700 hPa y el 10% alcanzan superficie (Frank, 1966). La influencia de VCAN en la región sudeste de Brasil fue estudiada por Silva Dias y Grammelsbacher (1991) y Sakuragi (1992) demostrando en un caso de lluvias intensas en Sao Paulo (1991), estaban, en parte, asociadas a un VCAN que afectó a la zona.

Los VCAN que actúan en el noreste de Brasil son observados en primavera, verano y otoño, con máxima frecuencia en el mes de enero. La formación de estos sistemas ciclónicos coincide con la época del año, donde el desplazamiento en niveles altos (200 hPa) se presenta meridional, de sur a norte, sobre Brasil al este del meridiano de 50° W. En verano, el intenso calentamiento del continente y la liberación de calor latente causa la formación de una circulación anticiclónica en alta troposfera (Alta de Bolivia) sobre América del Sur tropical (Figueroa et al. 1995, Carvalho, 1989), y una vaguada en el Océano Atlántico próximo al litoral noreste de Brasil, en niveles altos. Así también Gutman y Schwerdtfeger (1965), observaron utilizando el análisis del perfil vertical de la estación meteorológica de Antofagasta (23° S/ 70° W), en el verano del Hemisferio Sur que la capa troposférica entre 200 e 500 hPa aumentaba el espesor, sugiriendo que la fuente de calentamiento para generar este aumento de espesor estaba vinculada a la liberación de calor asociada a dos procesos: calor latente debido a convección y calor sensible liberado por el Altiplano Boliviano.

Garreaud R. D. (1999), indica que la inestabilidad condicional en niveles bajos predomina en las tardes de verano sobre el Altiplano únicamente cuando la humedad específica alcanza valores de 7 gr. Kg<sup>-1</sup> o más a nivel superficial y no se activa cuando es de 4 gr Kg<sup>-1</sup> o menos; es decir, no hay actividad convectiva. Sin embargo, hay que señalar a estos valores como referenciales ya que fueron obtenidos de dos experimentos de campo en la localidad de Visviri (17.5° S, 69.5° W y 4070 msnm). En general, la convección ocurre cuando el contenido de humedad cerca de la superficie del Altiplano alcanza valores altos (5-6 g/Kg), superiores al valor climatológico para esta región.

Otra característica importante de la circulación de baja atmósfera en Sudamérica, es La Corriente en Chorro de bajos niveles (LLJ, low level jet, siglas en inglés). Este flujo de aire transporta humedad con un dominante componente norte, se origina en una deflexión y canalización de los vientos alisios del noreste por la presencia de los Andes. Mientras que los LLJ cumplen un papel importante en el transporte de humedad y calor desde latitudes bajas hacia latitudes medias, la Corriente en Chorro del Sur (SJ, siglas en inglés) transportan aire frío y seco desde el sudeste hacia latitudes tropicales (Marengo, 2001).

Marengo y Soares 2001, muestran en un sondeo en Santa Cruz (Bolivia) a las 1100 UTC una capa húmeda entre 970 – 850 hPa que caracterizó al flujo del norte en aproximadamente 1500 msnm. Durante la tarde (2200 UTC) cuando la intensidad del Jet del NW se debilita a 21 m/s, el contenido de humedad también disminuye, en tanto que el episodio SJ esta caracterizado por aire mas seco y frío en capas bajas.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es describir la interacción dinámica de la intensificación de un VCBN en disipación sobre el noreste de Bolivia, quien es uno de los factores causante de las precipitaciones persistentes sobre el Altiplano y la sierra sur del Perú. ()

## **II METODO DE ANÁLISIS E INFORMACIÓN**

Se realizó el análisis con los resultados de las salidas de las primeras 24 horas del modelo numérico Eta/Senamhi, que corre operativamente el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú cada 24 hora. El análisis que se realizo fue de interpretación satelital y resultados del modelo numérico mencionado, tales como baja y alta atmósfera. Eta/SENAMHI es un modelo hidrostático de área limitada que emplea la coordenada vertical ‘‘Eta’’ ( $\eta$ ) que es una generalización de la coordenada sigma (Mesinger, 1984) que nos permite mejorar el cálculo de magnitudes horizontales en presencia de la topografía abrupta que presenta la cordillera de los Andes. Las condiciones iniciales son tomadas de los análisis del National Center for Environmental Prediction (NCEP). Así también se analizó las imágenes de satélite GOES08, y los registros de precipitación de 5 estaciones meteorológicas de la sierra sur del Perú.

### III ANÁLISIS SINOPTICO

El verano de 2004 presentó la formación continua de VCAN al este de Brasil extinguiéndose en bajos niveles sobre el este de Perú y Bolivia. La formación nubosa del VCBN se vio reflejada con mayor detalle en una imagen visible (o en varias, si solo se ve en UNA ...??). Esta circulación de niveles bajos se presentó entre el mes de diciembre del 2003, enero y la primera quincena de febrero de 2004, el cual generó precipitaciones persistentes en la región sur del Perú (**ver fig. 1**), provocando inundaciones en el Altiplano peruano.

En el presente trabajo se tomo el caso del 09 de febrero de 2004, en particular, por estar más definido el VCBN que otras oportunidades que se presentó. En la serie de imágenes de satélite se aprecia la mayor convergencia de humedad en niveles bajos, formando nubosidad a lo largo de las líneas discontinuas (**ver fig. 1**). Además, se puede observar el movimiento del vórtice ciclónico (VC) apreciándose el desplazamiento de humedad del norte hacia el vórtice central e identificándose en la imagen el flujo del norte como nubosidad en líneas meridionales rasgadas.

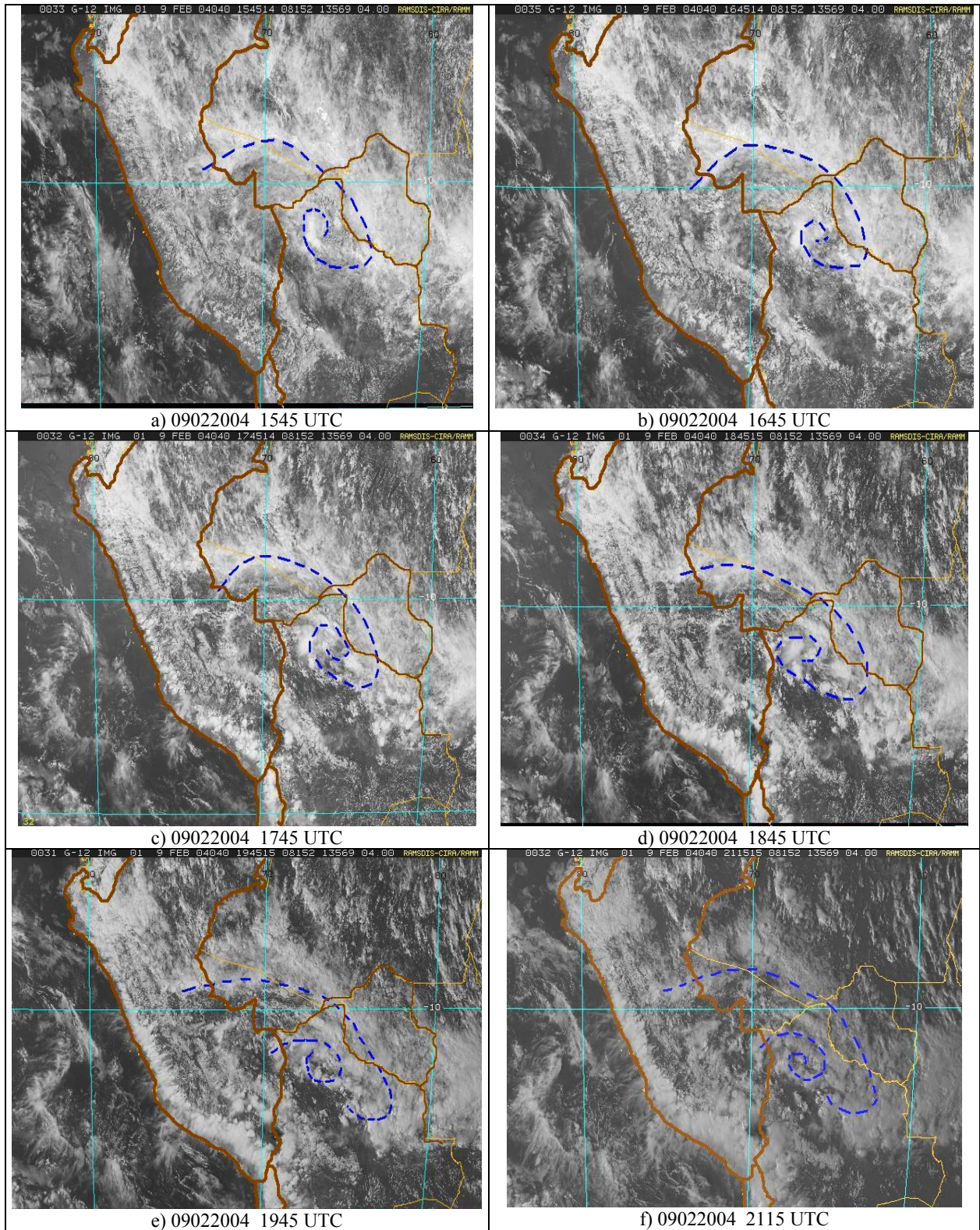
Según lo citado anteriormente, son tres las características dominantes en Sudamérica en el verano, siendo los VCAN unos elementos que se observaron en el transcurso de la primera mitad del verano. Los VCBN fueron generados por vaguadas en alta atmósfera que permitieron escapar núcleos de baja presión desplazándose de este a oeste. En algunos casos el desplazamiento de estos vórtices fue ganando mayor impulso por incursiones de nuevas vaguadas en alta y media atmósfera que permitieron trasladarse con mayor intensidad hacia el oeste de su posición. Estos sistemas se presentaron desde la región este y central de Brasil desplazándose hacia el norte de Bolivia y extinguiéndose por el sur del Perú. Una fuente de impulso fueron los flujos persistentes del norte en bajos niveles, estos vientos provenientes del Atlántico se desplazaron por el norte del continente ingresando por Venezuela, Colombia, Perú y Brasil girando ligeramente al sureste de Perú incentivando más los VCNB que se presentaron sobre el norte de Bolivia (**ver fig. 2**).

Otro sistema importante fue la aparición poco común para la estación de una Alta Migratoria (AM) que se presentó días antes del evento, desplazándose por el sur de Chile y Argentina e incentivando flujos meridionales del sur de bajos niveles, estos flujos llegaron a obtener características de un SJ (**ver fig. 2**) desplazándose por las zonas bajas de Bolivia y con mayor intensidad en horas de la noche.

En la **fig. 2**, se muestra el desplazamiento del SJ por el norte de Bolivia con intensidad de hasta 35 nudos en el nivel de 850 hPa. Este flujo se presentó a la izquierda de la circulación ciclónica proporcionando mayor impulso al vórtice ciclónico y confinando la humedad en la vertiente oriental de las cordilleras de Bolivia y sur de Perú. En las horas siguientes se mantuvo la circulación ciclónica y disminuyó la intensidad del SJ en el transcurso del día.

Si superponemos la imagen y la salida del modelo (**fig. 2**) notaremos el efecto que el SJ generó sobre la región donde se presentó. Asimismo, es apreciable la concentración de nubosidad en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes que confino el SJ.

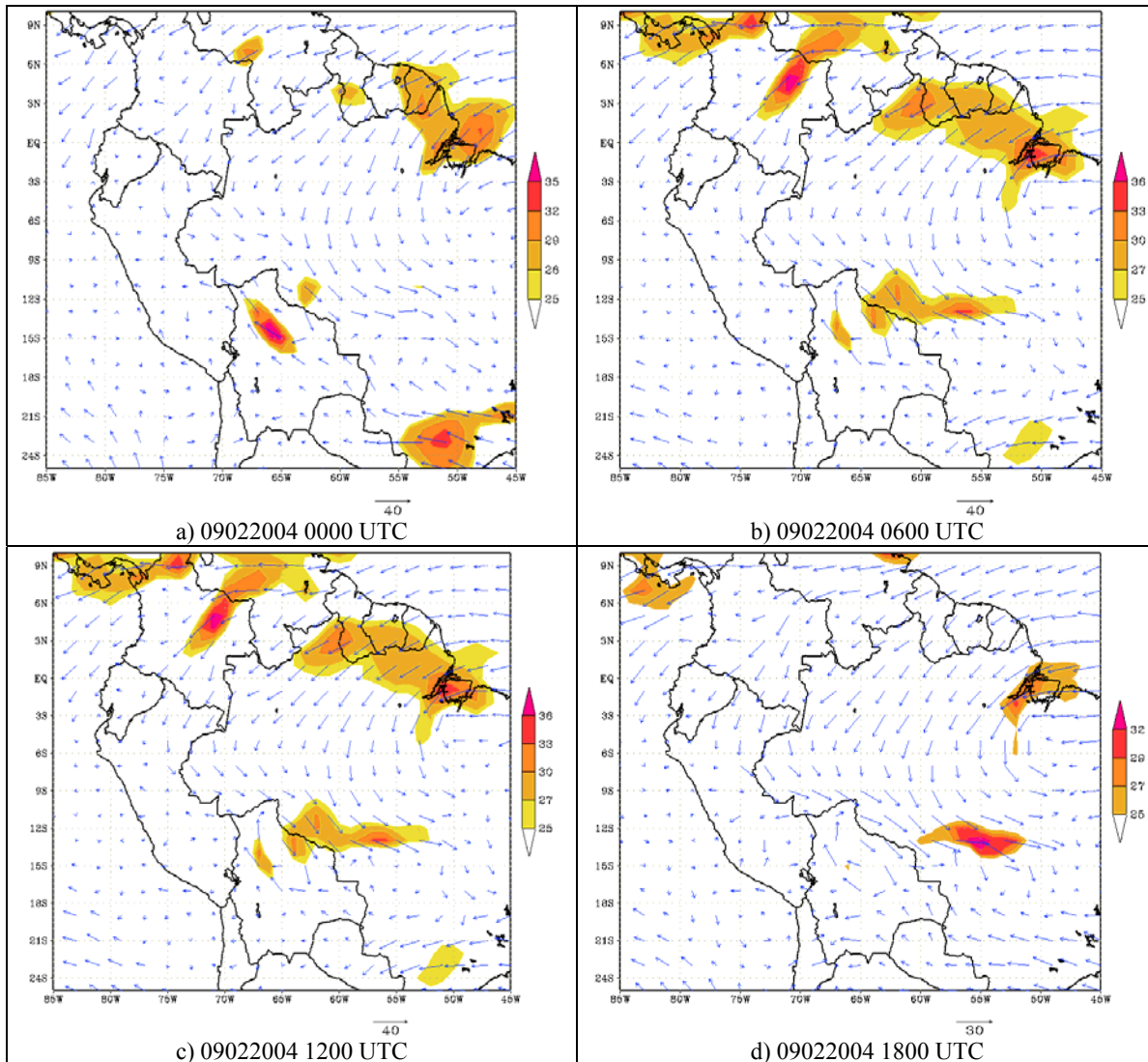




**Figura 1.** Imágenes visibles del GOES8 para las horas indicada.  
 El VCBN está representado en línea discontinua.  
 Fuente: RAMM/CIRA.

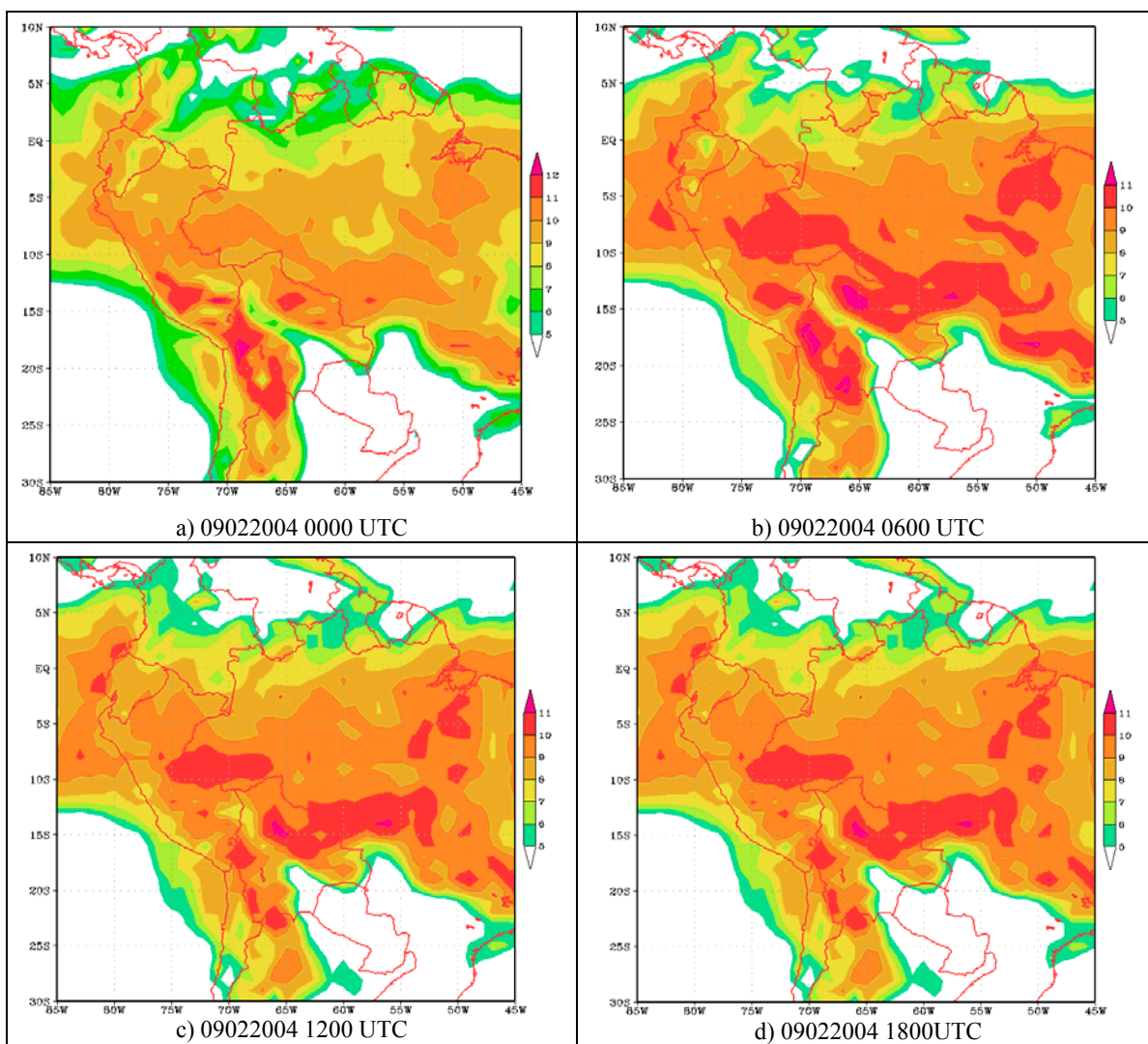


Es importante notar que los flujos provenientes del norte transportan aire cálido y húmedo hacia la región próxima al vórtice. Es así que la mayor concentración de humedad adyacente al vórtice es generada por la convergencia del viento en bajos niveles. Este tipo de formación convectiva poco profunda generó precipitaciones continuas, que en algunos casos llegó a persistir varios días consecutivos. Los flujos del noreste fueron persistentes contribuyendo el transporte de propiedades físicas en este caso en particular es el aporta aire cálido y húmedo desde la Hoya Amazónica hacia el norte de Bolivia y sur del Perú.



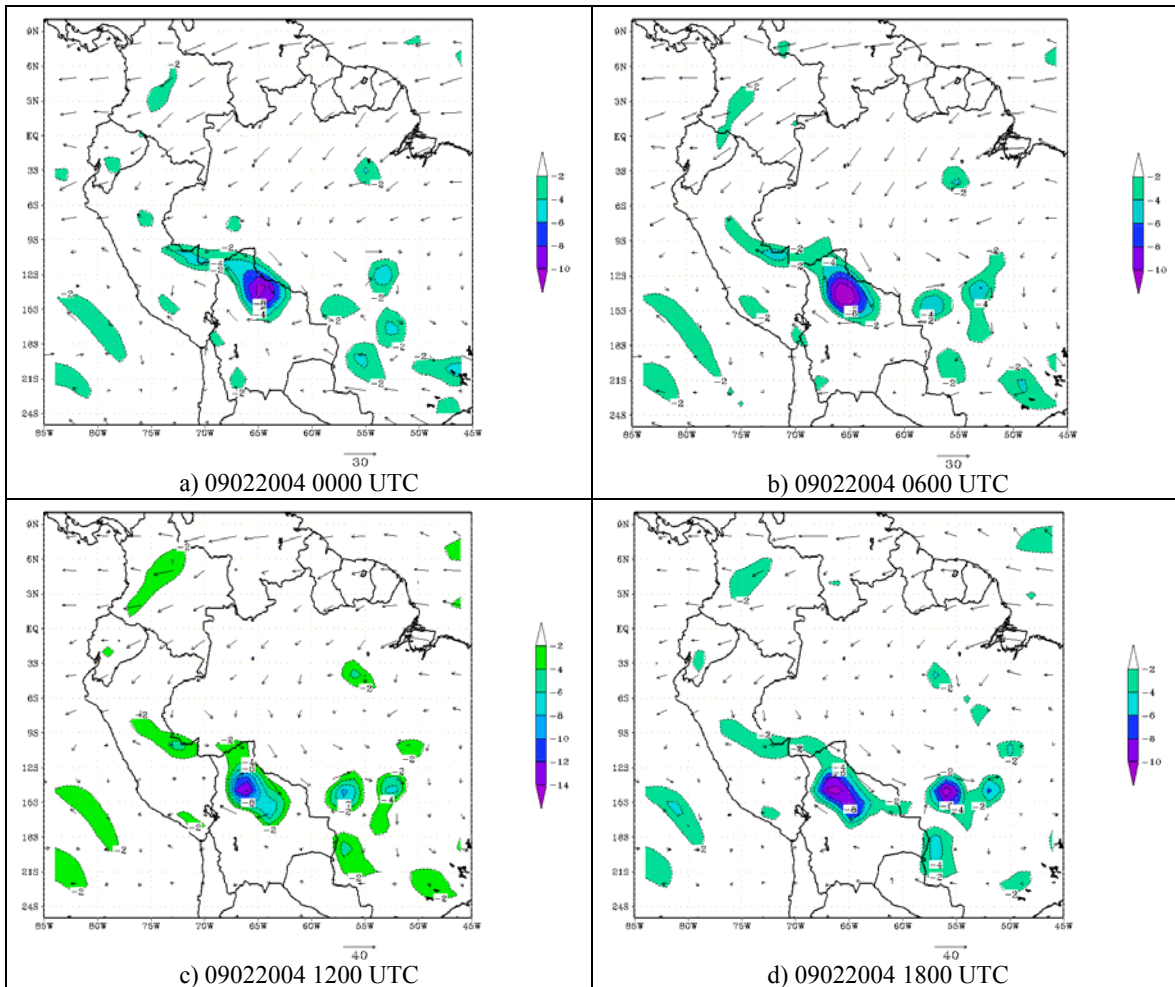
**Figura 2.** Viento (nudos, en vectores) e isotermas (mayores a 25 nudos, en matiz de colores) en el nivel de 850 hPa (Identificación de los Jets en bajos niveles LLJ – SJ).

El viento del sur presenta característica diferente al del norte, siendo ésta, aire frío y seco (Marengo 2001), lo que permite confinar la humedad delante de ella, generando mayor convergencia en bajos niveles y la formación de nubosidad convectiva. La **fig. 3**, muestra la mayor concentración de humedad en el nivel de 700 hPa, entre el noreste de Bolivia y centro del Perú con valores de relación de mezcla hasta de  $10 \text{ g} \cdot \text{Kg}^{-1}$ , mientras que al sur de Bolivia donde el SJ es persistente presenta valores inferiores a  $5 \text{ g} \cdot \text{Kg}^{-1}$ . Si observamos detenidamente la **fig. 3**, podremos notar la buena representación de los resultados de las salidas del modelo en los análisis, comparado con la imagen de satélite, donde muestra la mayor concentración de humedad a lo largo de las líneas entrecortadas (ver **fig. 1**)



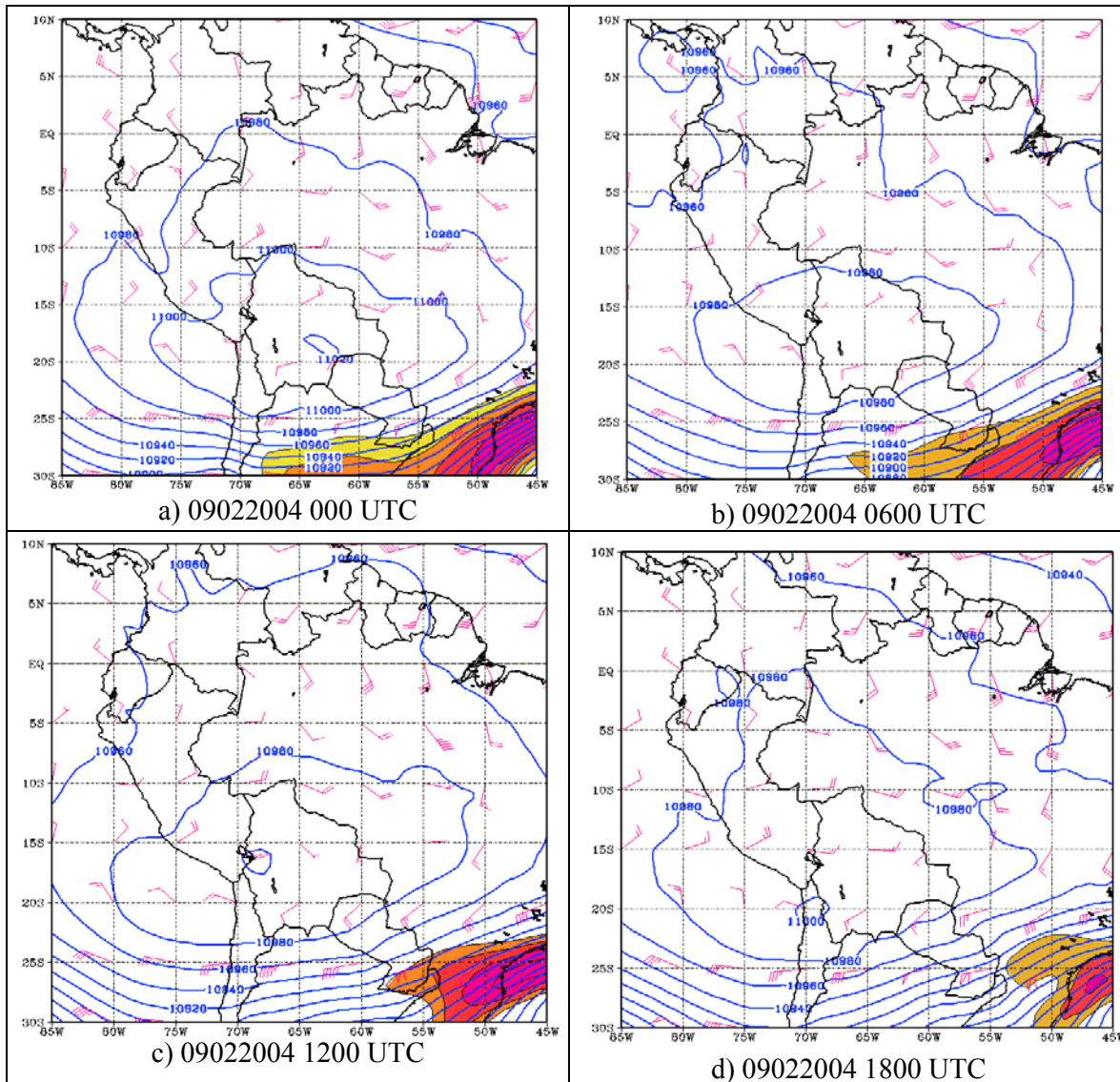
**Figura 3.** Relación de mezcla (g/Kg, en matiz de colores) en el nivel de 700 hPa

Las circulaciones que presentan las diferentes capas troposféricas son conducentes a las capas más próximas y si son sistemas intensos en niveles altos serán conducentes en niveles de la baja troposfera, intercambiando propiedades físicas que facilitarán la generación de sistemas con características propias. En algunos casos el desplazamiento de los sistemas sinópticos como las vaguadas, desprende vórtices ciclónicos generando inestabilidad y conllevando a la formación de núcleos convectivos. En la **fig. 4**, se observa un VCBN al noreste de Bolivia con su núcleo máximo de vorticidad relativa  $-10E-5*S^{-1}$  ( $E-5*S^{-1} = 1$  UVR) en el nivel de 700 hPa, extendiéndose hacia el noroeste sobre la selva sur del Perú. Para las próximas 24 horas se desplaza ligeramente hacia el este de su posición inicial, manteniendo su núcleo máximo. La posición y desplazamiento del VCBN contribuyó en dos aspectos muy importantes, siendo el primero el confinamiento de la humedad en la vertiente oriental de la cordillera ayudando a la formación de nubosidad por convección forzada y apoyó al SJ que se presentó al oeste del vórtice, que a su vez confina la humedad al norte de su posición del SJ (ver fig 4).



**Figura 4.** Viento (nudos, en vectores) y vorticidad relativa ( $10E-5*S^{-1}$ , en matiz de colores) en nivel de 700 hPa

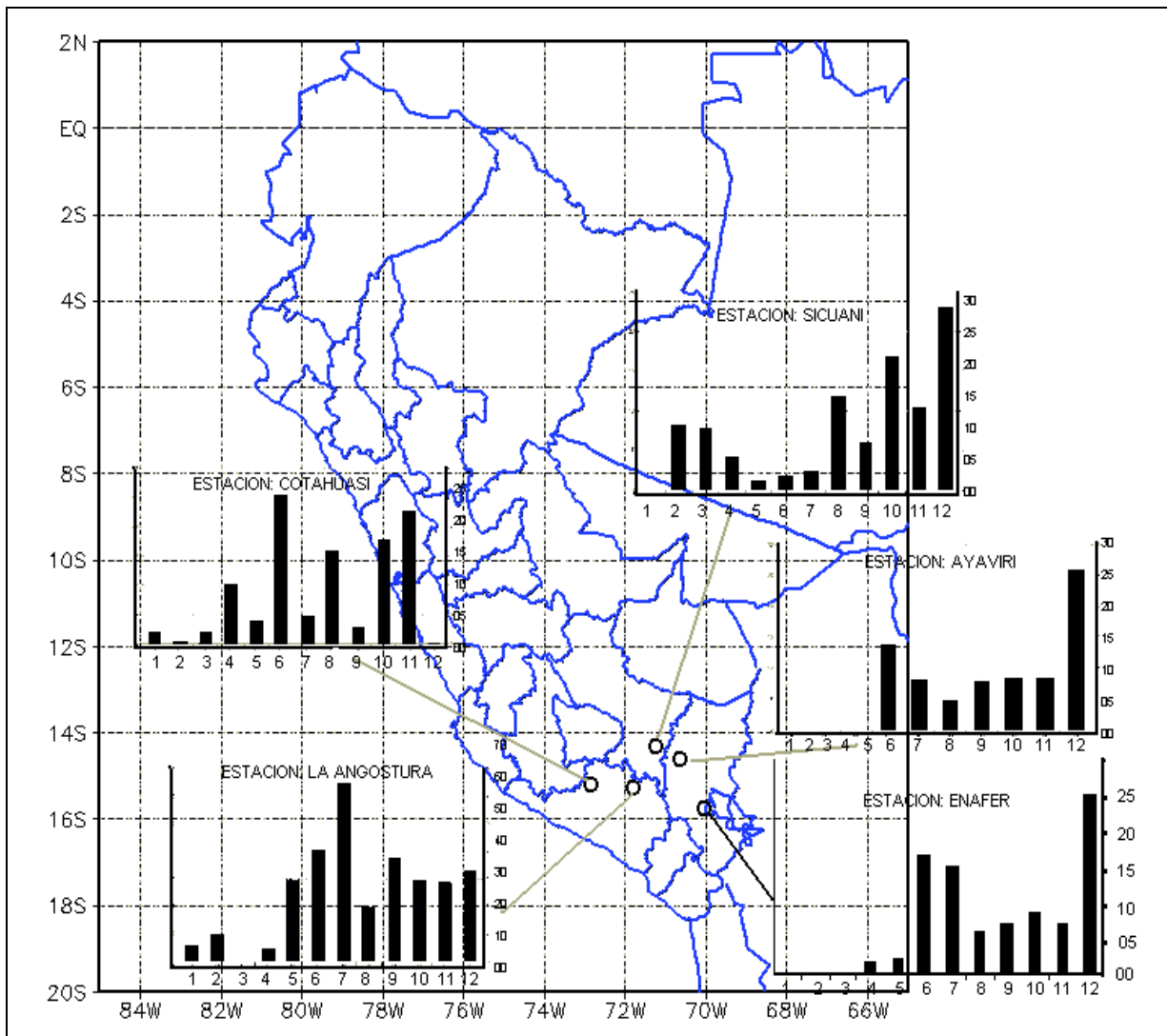
Diciembre - Marzo (Verano), estación lluviosa en el Hemisferio Sur, siendo la Alta de Bolivia (AB) una de las características dominantes en este periodo, cuyas circulación observamos en la **fig. 5**, presentando un núcleo de 11020 mgp en el nivel de 250 hPa al sur este de Bolivia, viento en circulación anticiclónica que varían de intensidad entre 15 a mas de 70 nudos por el norte Argentina (Corriente en Chorro), esta circulación se mantiene durante las siguientes 24 horas, variando ligeramente la posición del núcleo de la AB hacia el oeste y disminuyendo ligeramente el valor del núcleo de la AB en 20 mgp y manteniéndose el núcleo en 11000 mgp. Teniendo en consideración la AB como la liberación de calor asociada a dos procesos: calor latente debido a convección y también al calor sensible liberado por el Altiplano boliviano (Garreaud R. D. (1999), asociaremos esta liberación de calor en niveles de alta troposfera a la concentración de aire húmedo en gran parte del altiplano y la selva norte de Bolivia que es apoyado por divergencia que esta asociado a la Corriente en Chorro (CCH) que se desplaza por el sur de la alta de Bolivia (**ver fig. 5**), además según Uccellini y Jonson (1979), la región izquierda de la zona entrante de la CCH es el área divergente, sin embargo estas afirmaciones de Ucellini son aplicables a latitudes medias a menos que las intensidades de viento sean de velocidades considerablemente intensas.



**Figura 5.** Viento (nudos, en barbilla), Isohipsas (mcp, en líneas azules) y Corriente en Chorro (nudos, matiz de colores) en nivel de 250 hPa.

El mes de enero presentó condiciones sinópticas que se caracterizó con situaciones de precipitaciones persistentes en la sierra sur en especial en el departamento de Puno, Cuzco y zonas altas de Arequipa. Registrando acumulados de lluvia que sobrepasaron el promedio mensual y provocaron inundaciones y desbordes de diferentes ríos de la vertiente oriental de la cordillera, en los departamento mencionados. El gráfico 1, muestra precipitaciones continuas día a día con valores hasta de 60 mm/día en la estación de la Angostura, donde presentó el mayor valor en solo 24 horas. Cabe mencionar que estas formaciones convectivas fueron poca profundas (**ver fig. 1**) por ser identificados a mayor detalle en una imagen visible y en menor detalle en diferentes tipos de imagenes satelitales, presentando precipitaciones características de intensidades ligeras a moderadas en forma persistente.





*Gráfico 1: Precipitación en la sierra sur del Perú  
1 – 12 de febrero de 2004.*

#### IV CONCLUSIONES

Enero de 2003, presentó condiciones sinópticas especiales, siendo una de ellas las continuas formaciones de los VCNA que se desplazaron desde el este de Brasil al sureste del Perú, uno de estos se presentó el 09 de febrero del 2004 como un VCBN con un núcleo de -10 UVR en el nivel de 700 hPa al noreste de Bolivia con humedad de 10 - 11 g/Kg (relación de mezcla).

El paso de una alta migratoria por el sur del continente incentivó vientos intensos del sur, que obtuvieron características de SJ, desplazándose por el este de Bolivia con intensidades hasta de 35 nudos.

Se observó que el SJ generó estabilidad atmosférica a su paso y confinó la humedad delante de ella apoyando la convergencia de humedad, así también desplaza la humedad hacia la vertiente oriental de la cordillera generando convección forzada y organizada.

Las ondas cortas descritas, fueron uno de los sistemas que estuvieron asociados a las precipitaciones persistentes en la sierra sur del Perú entre enero y la primera quincena de febrero.

## V BIBLIOGRAFÍA

Avalos G. y Cubas F. (2004) - Evaluación de la Precipitación Pronosticada por el Modelo Eta/SENAMHI durante el verano de los años 2002 y 2003 - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

Cavalcanti, I.F.A.. Alguns aspectos da circulação da atmosfera próximo à América do Sul e interações com a região Antártica. São José dos Campos, INPE. (INPE-3308-PRE/618), 1982.

Ferreira N. Et al. – Synoptic scale features of the tropospheric circulation over tropical South America during the WETAMC TRMM/LBA experiment. *Atmósfera* (2004) 13 – 30.

Gusmão A.- Alta de Bolivia, Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) , Universidade de São Paulo (USP). [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br) (extraído enero, 2004)

Gilfor, M., Vojtesak, M., Myles, G., Bonam, R. and Martens, D., 1992. South America, South of the Amazon River. A Climatological Study.

Norabuena M. - Estudio de la precipitación en el departamento de Puno periodo setiembre del 2000 a marzo del 2001, IGP 3 (2002) P. 71-82 [www.igp.gob.pe](http://www.igp.gob.pe) (extraído enero, 2004)

Ucellini, L. W.; Johnson, D. R. – The Coupling of Upper and Lower Tropospheric Jet Streaks and Implications for the Development of Severe Convective Storms. *Mon. Weather Review.*, Vol 107, N6. Apud Mattos (1988).

Gan, M.A; Kousky, V.E, . Estudio observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. São José dos Campos, INPE,. (INPE - 2579-PRE/227), 1982

Garreaud R Multiscales analysis of the summertime precipitation over the Central Andes. *Monthly Weather Review*, 127: No. 5, pp. 901–921, 1999.

Garreaud R. – Pronóstico de la convección en el altiplano sudamericano: empleo del modelo regional Eta/Cptec. *Meteorológica* 26, N°1 y 2(2001) 25 – 38.

Maria, Maciel Lourenço y et. al. Vórtices Ciclónicos en niveles altos, *Climanálise especial/conmemoración de 10 años* (CPTEC/INPE: [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br))

Nury O. Et al. Vórtices Ciclónicos de alta troposfera que atuam sobre a região nordeste do Brasil. Centro de Previsión del Tempo e Estudios Climáticos (CPTEC). Web site: [Cptec.inpe.br/climanalise](http://Cptec.inpe.br/climanalise)

Maria Assunção Faus da Silva Dias: Complejos Convectivos de Mesoescala sobre região Sul do Brasil, *Climanálise especial/conmemoración de 10 años* (CPTEC/INPE: [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br))

Palmer, C.E. On high-level cyclones originating in the tropics. *Transactions of American Geophysics Union*, 32(5):683-695, 1951.