

# CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE TERRITORIO BOLIVIANO DURANTE LA FASE ACTIVA Y PASIVA DEL MONZÓN SUDAMERICANO

Andrés W. Burgoa Mariaca

*Instituto de Investigaciones Físicas, FCPN  
La Paz—Bolivia*

## RESUMEN

Haciendo uso de los datos climatológicos generados por modelo de acoplamiento océano-atmósfera iROAM con una resolución espacial de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  en latitud y longitud para el período comprendido entre los años 1998 - 2003 y los aportados por NCEP-Reanálisis, se estudió la circulación meridional del viento, vertical y perfiles verticales durante la fase activa y pasiva del monzón sudamericano. El carácter estacional de los vientos en los niveles bajos de la troposfera se hace evidente y la surgencia de una vorticalidad anticiclónica o alta boliviana ( $20^\circ S - 65^\circ W$ ) en los niveles altos se hace patente en el altiplano boliviano.

Cortes transversales longitudinales centrados en  $12,5^\circ S$  y  $15,0^\circ S$  para el verano Austral evidencia la existencia de Corrientes en Chorro en los Niveles Bajos (CCBS) de la Troposfera situado en la ladera oriental de los Andes Centrales ( $800 - 900 hPa$ ) y una intensidad de  $5 \left[ \frac{m}{s} \right]$  dirigido hacia el Sur del continente sudamericano. En el invierno Austral se puede evidenciar el cambio en el sentido de movimiento de la CCBS hacia el norte del hemisferio sur, su intensidad aumenta a  $8 \left[ \frac{m}{s} \right]$  y se ubica en los  $700 hPa$  muy pegado a la ladera oriental de los Andes Centrales.

Cortes transversales latitudinales en  $25,0^\circ S - 0^\circ$  centrado en  $68,0^\circ W$  muestran para el verano Austral movimientos de masas de aire ascendentes forzados por la presencia de la orografía andina, estos movimientos se amplifican hasta los niveles altos de la Troposfera en donde divergen horizontalmente, su origen en los niveles bajos (Ixiamas-Bolivia) se extiende hasta los grandes salares ubicados en la altiplanicie boliviana, movimientos estos cargados de fuerte humedad y actividad convectiva. En el invierno y primavera Austral se evidencia subsidencia de masas de aire a lo largo del corte longitudinal, este está asociado a buen tiempo y soleado (puna de Atacama - Iquique - Chaco Boreal - Salares en Bolivia).

La condición de Baroclinicidad de la CCBS parece no estar patente cuando se analiza la estructura termodinámica en el núcleo de la CCBS y su presencia coadyuva a la formación de sistemas complejos de mesoescala en la región.

La presencia de la Alta Boliviana da el carácter estacional de las precipitaciones en suelo boliviano, éstas se concentran en el norte del departamento de La Paz y Pando, extendiéndose hacia la amazonía boliviana, la intensidad de esta ésta en los  $300 \left[ \frac{mm}{mes} \right]$ .

*Descriptores: Circulación Atmosférica, Monzón Sudamericano.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La palabra “monson” proviene del Arabe “Mausim” que significa estación y con él los navegantes del Indico denominaron la gigantesca inversión de vientos que, con carácter estacional, se registra en dicho océano y que, históricamente, fue aprovechada para la navegación entre las costas de África y la India: en verano rumbo hacia el noroeste (monzón de verano o monzón de las lluvias) y en invierno hacia el suroeste (monzón de invierno o monzón seco).

Tradicionalmente se vio al continente sudamericano con características de un régimen no-monzónico. Sin embargo, Zhou y Lau (1998) se encargaron de demostrar

que las principales características de la inversión estacional de los vientos alisios a gran escala sobre el continente sudamericano se parece en mucho a los sistemas monzónicos existentes en Asia el África y el norte de Australia, solo para citar algunos. A su vez, observaciones previas nos dan referencia a que sudamérica posee ciertas características semejantes a los monzones ya existentes a nivel global. Horel et al. (1989) muestran que la alta boliviana se intensifica muy rápidamente a medida que este se va asentando sobre el territorio boliviano. Li y Fu (2002) también evidencian características muy similares al monzón asiático durante la estación húmeda para el monson sudamericano.

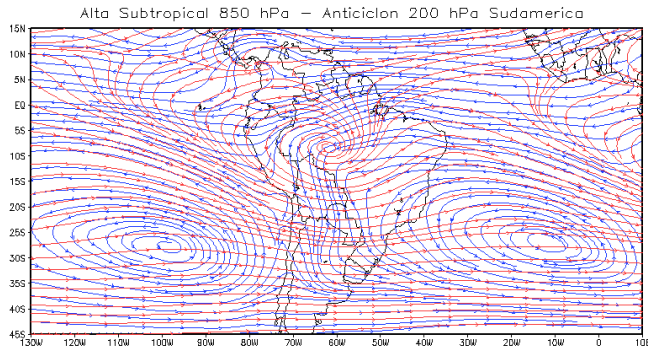


Figura 1. Se muestra la climatología tanto de la Alta subtropical como del anticiclón en el Hemisferio Sur.

Holton y Krishnamurti coinciden en explicar los mecanismos hidrodinámicos que rigen la circulación monzónica en la estación de verano; en particular, cuando una columna de aire se extiende hacia la troposfera, en los niveles bajos de esta se genera un remolino de energía potencial que luego se manifiesta en los niveles altos de la troposfera como energía cinética divergente, el acoplamiento de tal energía con la rotación de los vientos se manifiesta como energía cinética de rotación, en tal sentido, el continente sudamericano y en especial en la altiplanicie boliviana se genera una vorticalidad anticiclónica ( $\zeta > 0$ ). Los estudios a gran escala o global, han caracterizado la transición de los condiciones térmicas y dinámicas para el inicio de tales anticiclones, sin embargo la pregunta que aun queda flotante es conocer el mecanismo de disparo que inicia las condiciones para tal génesis. Sin embargo, Silva Dias y otros (1983) muestra mediante un modelo lineal baroclinico que la alta boliviana o vorticalidad anticiclónica se debe esencialmente a las ondas de Rosby ecuatoriales como una respuesta al forzamiento transiente del calor en el Amazonas al cual acompaña fuertes tormentas eléctricas en el altiplano boliviano.

A nivel global, la circulación de vientos en los niveles bajos de la troposfera sobre los océanos subtropicales esta caracterizado por la presencia de altas subtropicales, las cuales son permanentes durante todo el año. Mientras que los monsoones asiáticos, africano y el de las américas son estacionales que siguen la migración estacional latitudinal del Sol. En tal sentido, tanto anticiclones subtropicales como monsoones juegan un rol fundamental en la circulación global tanto en la atmósfera como en los océanos. Se atribuye la existencia de los anticiclones subtropicales a la Célula de circulación de Hadley. Heald y Hou (1980) muestran como los conceptos físicos de conservación del momento angular, el balance en el viento térmico y el equilibrio radiativo-convectivo pueden explicar la estructura media zonal y anual de la circulación de Hadley. Los estudios relativos a los sistemas monsonicos a nivel global confluyen a una relación directa entre las altas subtropicales, los monsoones y la célula de circulación de Hadley. Por lo tanto, la motivación para el presente estudio es mostrar la circulación atmosférica

sobre territorio boliviano durante la fase activa y pasiva del monson sudamericano.

## 2. DATOS

Los datos utilizados en el presente estudio consisten en datos diarios del Centro Nacional para la Predicción del Medio Ambiente (del ingles NCEP) tomados cuatro veces al día a 0000, 0600, 1200 y 1800 UTC para un período de nueve años (1998-2006) con una resolución espacial en longitud-latitud de  $2,5 \times 2,5$  a 17 niveles de presión estandar, con dichos datos se construyo la climatología para el período 1998 al 2003. A su vez, se hizo uso de los datos climatológicos del modelo climático regional Oceano-Atmósfera denominado IPRC ROAM (iROAM) con una resolución de  $0,5 \times 0,5$  en longitud-latitud a 20 niveles de presión estandar para el período 1998 al 2003.

## 3. EL SISTEMA MONZÓNICO EN SUDAMERICA

La Figura 1 ilustra la circulación de los vientos en los niveles bajos y altos de la troposfera para la Climatología anual del período 1998-2003 en el Hemisferio Sur, en esta es posible apreciar las vorticidades anticiclonicas situadas frente a las costas del Pacífico Chileno y las costas del Atlántico Brasileño (850 hPa), a su vez en pleno continente sudamericano se situa un anticiclón permanente en los límites territoriales de Brasil y Bolivia durante todo un año (200 hPa). En los niveles bajos se puede evidenciar la intensidad de los vientos alisios (vientos del sureste) en el océano Atlántico como en el Pacífico tropical. Dichos vientos bordean las costas chilenas como las brasileñas y uruguayas. En las proximidades del límite ecuatorial, los vientos alisios se acoplan a aquellos provenientes del Hemisferio Norte (vientos del noreste) para dar a lugar a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

La cadena montañosa que se extiende a lo largo del continente, impide que los vientos alisios del Pacífico penetren hacia el interior de éste, mientras que los alisios del Atlántico logran ingresar vía cuenca amazónica hacia territorio boliviano y seguir su curso hacia las pampas argentinas, a estos niveles no es posible hablar de un régimen monzónico ya que no se evidencia la inversión estacional de los vientos en el Hemisferio Sur. En los niveles altos de la troposfera, la vorticalidad anticiclónica en ubica en los  $9^{\circ}S - 63^{\circ}W$  durante todo un año calendario. Sin embargo, si extraemos la componente anual y fijamos la atención en los picos tanto del verano como del invierno Austral, entonces se puede evidenciar la estacionalidad en la circulación de los vientos tanto en los niveles bajos como altos de la troposfera.

La Figura 2 muestra por separado tanto en los niveles altos como bajos la estación del verano e invierno Austral, en esta se puede evidenciar la vorticalidad anticiclónica ( $\zeta > 0$ ) en la planicie altiplanica de Bolivia ( $20^{\circ}S - 65^{\circ}W$ ); dicha vorticalidad se trata de un anticiclón cálido, es decir, dicho anticiclón está constituido por una masa de aire más cálida de que la existe a su alrededor, trátese pues de un núcleo cálido en donde los gradientes de presión y temperatura tienen la misma dirección

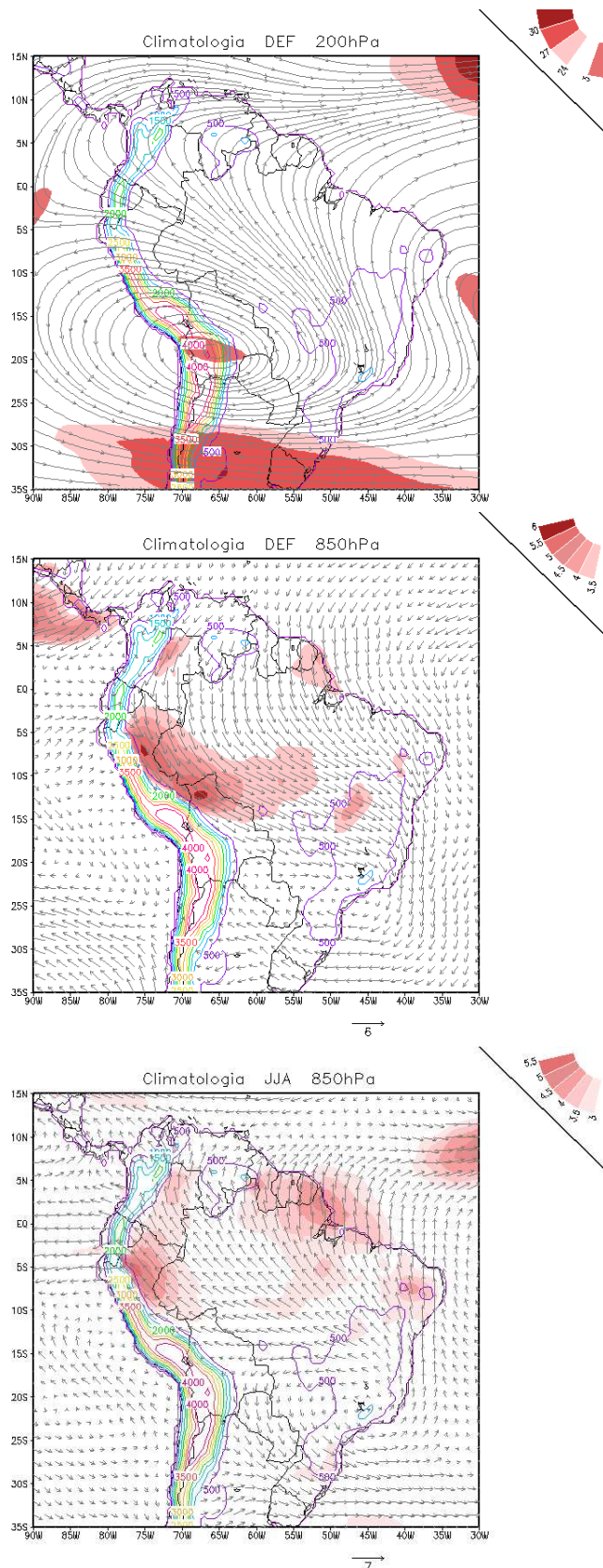


Figura 2. Se muestra de arriba para abajo la circulación de los vientos en los niveles altos y bajos de la tropósfera para el verano e invierno Austral. Las sombras indican la magnitud del viento a los niveles referidos.

y son máximos ambos, esto implica que las superficies isobáricas se organizan en forma de campana con lo que la pendiente de estas se acrecienta con la altura. Los mecanismos que preceden a la formación de estos campos de presión se deben básicamente a procesos dinámicos, así en el anticiclón cálido la superficie isobárica genera una alta presión en el núcleo del anticiclón que esta ligado hidrostáticamente con el aire frío de los alrededores que es relativamente más denso. La estructura de estos anticiclones permite explicar las diferencias tan notorias de tiempo atmosférico de una estación a otra, así estos se caracterizan por fuertes ascensos de masa de aire que da a lugar a un enfriamiento adiabático del mismo. Este enfriamiento puede llevar a la saturación y condensación del aire, lo que genera abundante nubosidad que puede estar acompañada de precipitaciones, de ahí que se asocie al anticiclón con tiempo nublado y lluvioso. Dicho proceso hace que el volumen de aire en la columna de aire vertical conserve la ecuación de continuidad y un gradiente térmico vertical muy inestable como consecuencia de la superposición de aire frío en las capas altas y cálido en la superficie.

La Figura 2 gráfico segundo de arriba hacia abajo muestra la circulación de vientos en los niveles bajos,  $850hPa$ , en esta es de particular importancia el desarrollo de las denominadas Corriente de aire en los Niveles Bajos (CNB) que se ha venido a denominar la Corriente en Chorro de los niveles Bajos en Sudamerica (CCBS), estos CCBS juegan un papel fundamental en el clima regional del Hemisferio Sur y típicamente se localizan hacia el costado oriental de la cadena montañosa de los Andes centrales o como en el caso del monson indio el gran contraste térmico entre el continente indio y los adyacentes al océano Indico generan chorros o corrientes de aire en los niveles bajos de la atmósfera, sea en el continente asiático o las américas, la presencia de esta es estacional, es decir, sigue la migración latitudinal del Sol. La importancia de estos CCBS es que estan estrechamente vinculados a la formación de complejos convectivos de mesoescala y convergencia de vapor de agua por debajo de estos CCBS. La figura mencionada nos ilustra la climatología de la estacionalidad de los vientos alisios para el verano Austral (DEF), tal como puede evidenciarse, los vientos provenientes de la cuenca del Sahel africano cruzan la línea ecuatorial e incursionan al continente sudamericano vía cuenca amazónica bordeando la cordillera de los Andes y girar ciclónicamente para dirigirse hacia el Gran Chaco, se ve notoriamente en este movimiento de masas de aire que la CNB ingresa por el norte del departamento de Pando e incursiona hacia las llanuras benianas y el escudo chiquitano. Su incursión va más allá, es decir, se observa una vorticidad ciclónica ( $\zeta < 0$ ) en las grandes urbes de Sao Paulo y Rio de Janeiro. A su vez, la climatología para la estación del invierno Austral (JJA) (ver Figura 2 gráfico tercero de arriba hacia abajo) muestra una vorticidad anticiclónica ( $\zeta > 0$ ) en las ciudades brasileñas anteriormente mencionadas para adentrarse hacia el continente e iniciar su retorno a la



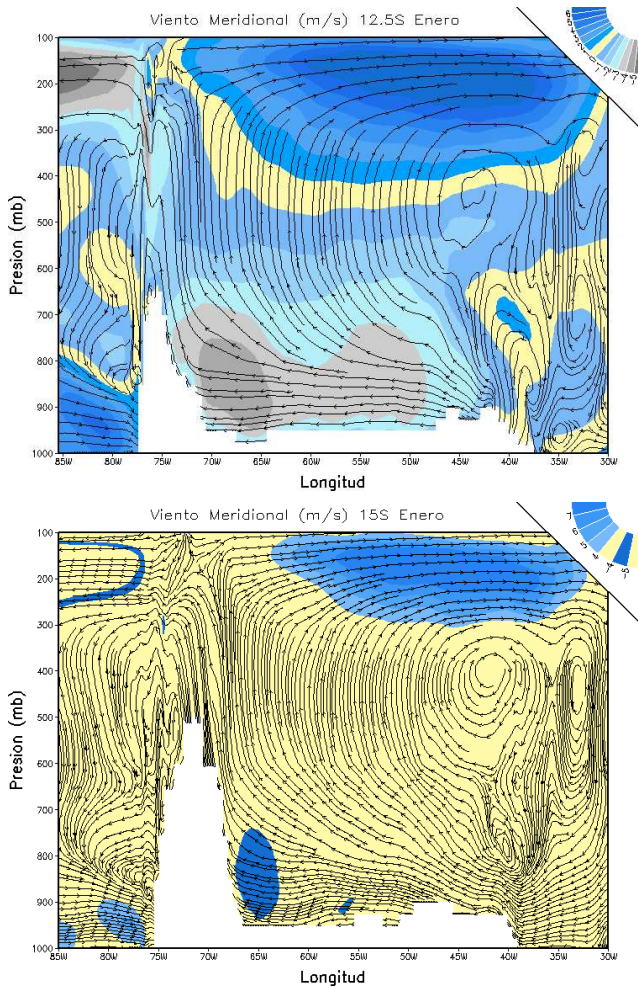


Figura 3. La Figura muestra un corte transversal longitudinal a diferentes latitudes en el continente sudamericano, en ésta se puede evidenciar el movimiento, orientación e intensidad de la Corriente en Chorro de los Niveles Bajos ( $850hPa$ ).

cuenca del Sahel africano, este giro estacional de los vientos para los meses DEF y JJA da el carácter monzónico a Sudamérica y trátase pues de un monzón semejante al monzón indio con un tiempo de duración de dos meses y medio, el suficiente para aportar la cantidad necesaria de lluvias en la región, ya que los monzones se caracterizan por la presencia de precipitaciones durante su estadio en el continente.

### 3.1. CCBS (longitudinal) para la estación del verano Austral

La Figura 3 muestra los cortes transversales longitudinales a  $12,5^{\circ}S$  y  $15,0^{\circ}S$  para la climatología de los vientos meridionales durante la estación del verano Austral, en ésta se ve la orientación de la CCBS en el continente sudamericano dirigido hacia el polo Sur. La CCBS está orientada hacia la ladera oriental de la cordillera andina y ubicada entre los  $800 - 900 hPa$ , se observa claramente el papel que juega la orografía y su carácter de forzamiento para la génesis de la CCBS, a su vez, en la ladera occidental peruana (Lima-Perú) se puede evi-

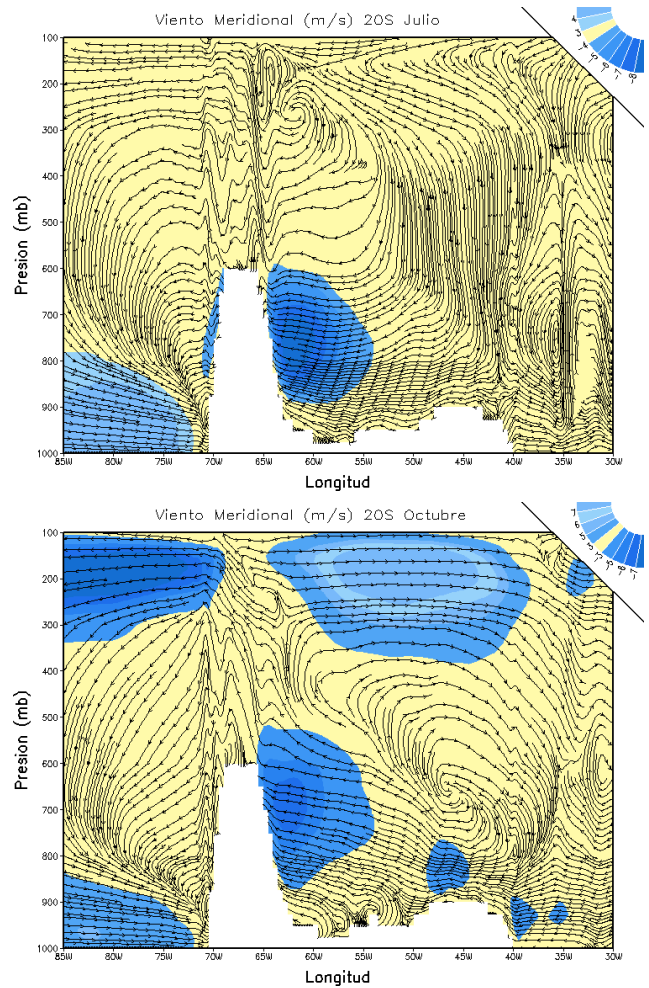


Figura 4. Se puede evidenciar en la Figura el corte transversal longitudinal a  $20,0^{\circ}S$  para la estación del invierno y la primavera Austral en el continente sudamericano.

denciar una chorro de niveles bajos en sentido ecuatorial, su ubicación se centra entre los  $900 - 1000 hPa$  y como contraparte a estas corrientes en los niveles bajos se establece en los niveles altos de la troposfera otros chorros de mayor intensidad en sentido ecuatorial. En la Figura también se acopla el movimiento vertical que experimentan los vientos en presencia de la vortical anticiclónica en la altiplanicie boliviana, se puede evidenciar el intenso movimiento ascendente de las masas de aire hacia los niveles altos ( $200hPa$ ), en especial a los  $12,5^{\circ}S$  de latitud se puede observar movimientos verticales tanto en el norte de La Paz y las llanuras benianas para luego cerrar la célula de circulación con movimientos descendentes frente a las costas de el Salvador en el Brasil, además se puede ver que se genera una pequeña célula de circulación entre la cordillera de Carabaya y Huanta en el Perú. Mientras que en los  $15,0^{\circ}S$  de latitud se evidencia movimientos ascensos intensos que se originan en las proximidades de la llanura de moxos en el Beni, siguiendo hacia el nudo de Apolobamba en los límites fronterizos de Perú y Bolivia, esta rama ascendente se cierra con otra descendente frente al Salvador en el Brasil; a su

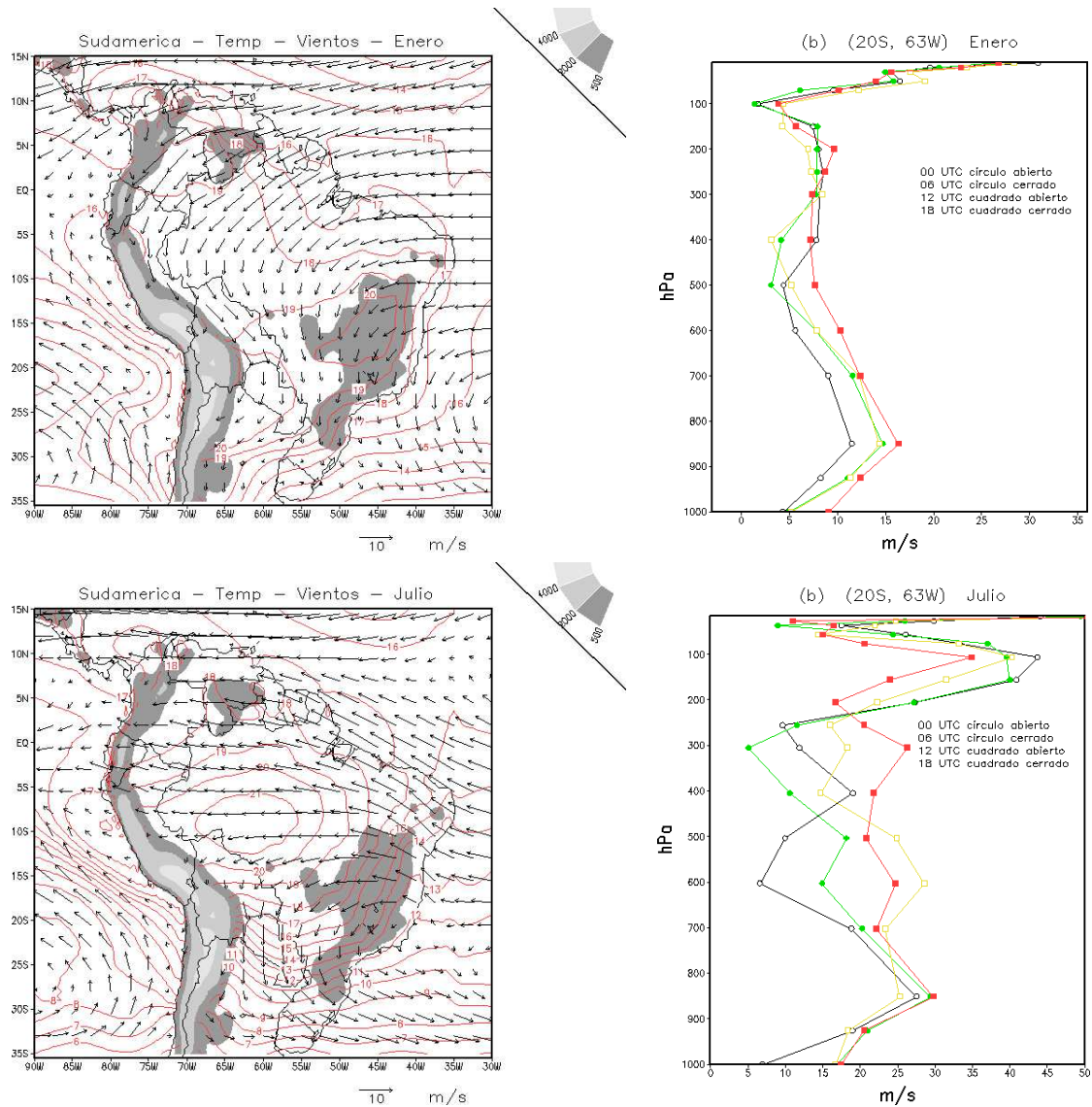


Figura 5. La Figura nos muestra la temperatura en contornos a  $925\text{ hPa}$  y vientos en vectores a  $850\text{ hPa}$  para las estaciones del verano e invierno Austral, acompaña a estas perfiles verticales del viento a  $20,0^{\circ}\text{S} - 63,0^{\circ}\text{W}$ .

vez, otra circulación de menor intensidad se genera entre la cordillera de Carabaya y la cordillera de Chilca en el Perú.

### 3.2. CCBS (longitudinal) para la estación del invierno Austral

La Figura 4 nos muestra la CCBS tanto para el invierno y la primavera Austral en el continente sudamericano, en plena estación invernal se evidencia que la CCBS se localiza en los niveles de presión de  $700 - 800\text{ hPa}$  muy próxima a la ladera oriental de los Andes Centrales, en el costado occidental se muestra un ligero chorro a los mismos niveles que su contraparte oriental, es interesante notar el sentido de la CCBS en sentido ecuatorial. En la ladera occidental y frente a las costas del Pacífico chileno un chorro de niveles bajos se dirige hacia el polo sur. A su vez, los movimientos verticales en ambos flancos de la cordillera andina evidencia una

célula de circulación que abarca una rama descendente al interior del continente y el costado oriental de los Andes Centrales y otra rama descendente hacia el interior del océano Pacífico; en tal sentido, dichos movimientos tienen que ver con la subsidencia de las masas de aire hacia los niveles bajos, dichos movimientos calientan adiabáticamente a las masas de aire y las alejan del punto de saturación y con ello determina la aparición de tiempo seco, despejado y soleado. En las inmediaciones de los niveles bajos la orografía afecta fuertemente estos movimientos descendentes, de ahí que en el Chaco Boreal, el salar de Uyuni e Iquique, este último frente a las costas chilenas evidencian condiciones semidesérticas.

Por otro lado, en el pico de la estación de Primavera, se puede evidenciar la CCBS al nivel de  $700\text{ hPa}$  en dirección ecuatorial, este se ubica aproximadamente entre los departamentos de La Paz y Cochabamba, mientras que su contraparte en el flanco occidental se ubica en



pleno océano Pacífico en dirección hacia el polo sur; en los niveles altos se observa dos chorros que se dirigen hacia la línea ecuatorial y el otro hacia el polo sur. En el pico de la estación primaveral se puede notar nuevamente movimientos ascendentes desde el Chaco Boreal, Serranía los Milagros y la cordillera Mandinga, estos últimos ubicados en el departamento de Chuquisaca, por otro lado la subsidencia prevalece en la ciudad de Iquique Chile y movimientos de ascendentes entorno a los Salares de Coipasa y Uyuni.

### 3.3. Procesos dinámicos en la CCBS

La Figura 5 ilustra la composición del campo de temperaturas en contornos a  $925 \text{ hPa}$  y el campo de vientos en vectores a  $850 \text{ hPa}$  para la estación tanto del verano como el invierno Austral, también acompaña a estas los perfiles de vientos a  $20,0^\circ \text{S} - 63,0^\circ \text{W}$ . La estructura termodinámica de tales configuraciones nos muestra que el viento no sopla de forma paralela al gradiente de temperaturas horizontal, es decir, el viento térmico está íntimamente relacionado con la cortante vertical del viento y esta a su vez con el concepto de una atmósfera Baroclínica; sin embargo los resultados expuestos aun en el caso de un forzamiento geostrofico no sería el responsable de producir la CCBS. Los perfiles que acompañan a estas ponen de manifiesto que en el invierno Austral es donde la CCBS posee la mayor intensidad, dichos perfiles nos muestran la relación estrecha con la actividad convectiva y la formación de complejos convectivos de mesoescala, en especial durante el verano Austral en las inmediaciones de las 18UTC (actividad diurna).

### 3.4. Actividad convectiva latitudinal en la presencia de vorticidad anticiclónica

La Figura 6 pone de manifiesto la actividad convectiva latitudinal para las estaciones del verano e invierno Austral. El corte transversal latitudinal  $25,0^\circ \text{S} - 0^\circ$  centrado en  $68,0^\circ \text{W}$  para el verano Austral nos indica que los movimientos ascendentes de las masas de aire que incursionan vía línea ecuatorial son forzados a subir hacia los niveles altos de la troposfera, sitio donde estos divergen. Las localidades que experimentan estos movimientos verticales van desde Ixiamas, Serranía Huayra Pata, Zongo y Calamarca, mientras que el extremo sur evidencia un canal ascendente entorno al Salar de Uyuni y la puna de Atacama, este último en Chile. Se muestra también un giro ciclónico al nivel de  $500 \text{ hPa}$  y de dirección hacia la cuenca del océano Pacífico, a la altura de la Cordillera del Condor en el Ecuador.

El corte transversal latitudinal  $25,0^\circ \text{S} - 0^\circ$  centrado en  $68,0^\circ \text{W}$  para el invierno Austral pone de manifiesto una célula de circulación con su rama descendente hasta los  $15,0^\circ \text{S}$ , lo que implica que las masas de aire se calientan en su descenso y se alejan del punto de saturación, lo que muestra las condiciones de buen tiempo en gran parte de la región.

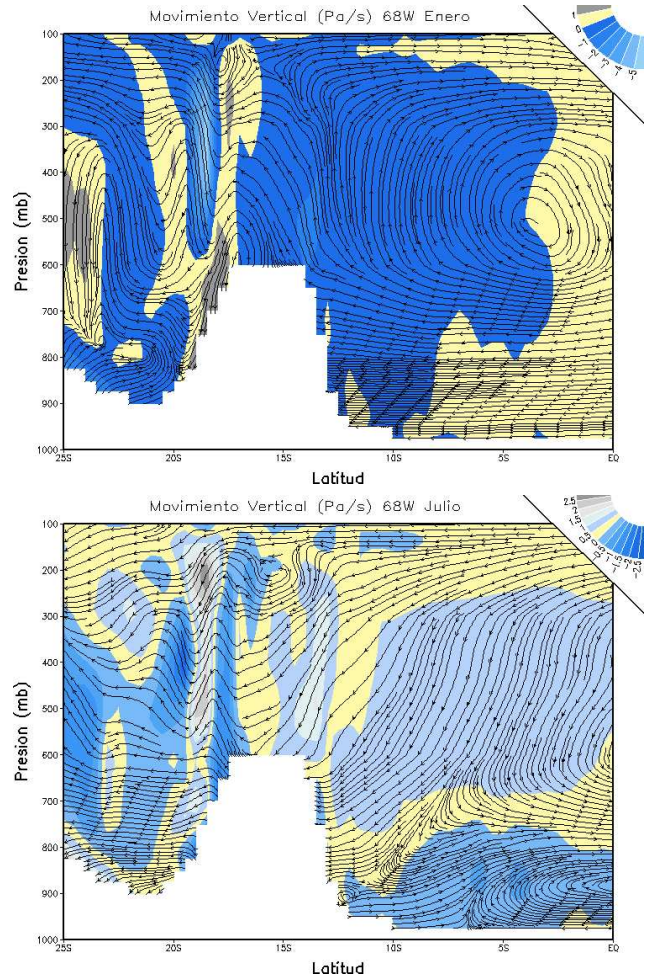


Figura 6. La Figura ilustra el corte latitudinal  $25,0^\circ \text{S} - 0^\circ$  centrado en  $68,0^\circ \text{W}$  para las estaciones del verano e invierno Austral, en esta se evidencia los movimientos tanto ascendentes como descendentes de las masas de aire que incursionan al continente sudamericano, en un caso esta asociado con tiempo húmedo, actividad convectiva y precipitaciones, mientras que en el otro caso se nota buen tiempo y seco, las lluvias están ausentes para este caso.

### 3.5. Variación estacional de las precipitaciones en sudamerica

La Figura 7 ilustra la variación estacional de las precipitaciones en el continente sudamericano durante la fase activa y pasiva del monzón en sudamerica. El inicio de la estación húmeda se inicia al norte de la línea ecuatorial, centrando su máximo en  $40 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right]$  en las costas del Pacífico colombiano y disminuyendo hacia el norte peruano con  $10 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right]$ . En el pico de la actividad monzónica, las precipitaciones se concentran en los Andes Centrales con  $10 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right]$  o  $300 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{mes}} \right]$  extendiéndose hacia el interior de la Cuenca Amazónica brasileña, estas precipitaciones son necesarias para mantener todo un ecosistema que depende de él y por ende la actividad agrícola en gran parte de la región y la generación de energía eléctrica en la represa de Itaipu (Paraguay, Brasil). De entrada a la estación del invierno Austral la migración estacional de las precipitaciones se mueven en dirección ecuatorial hacia

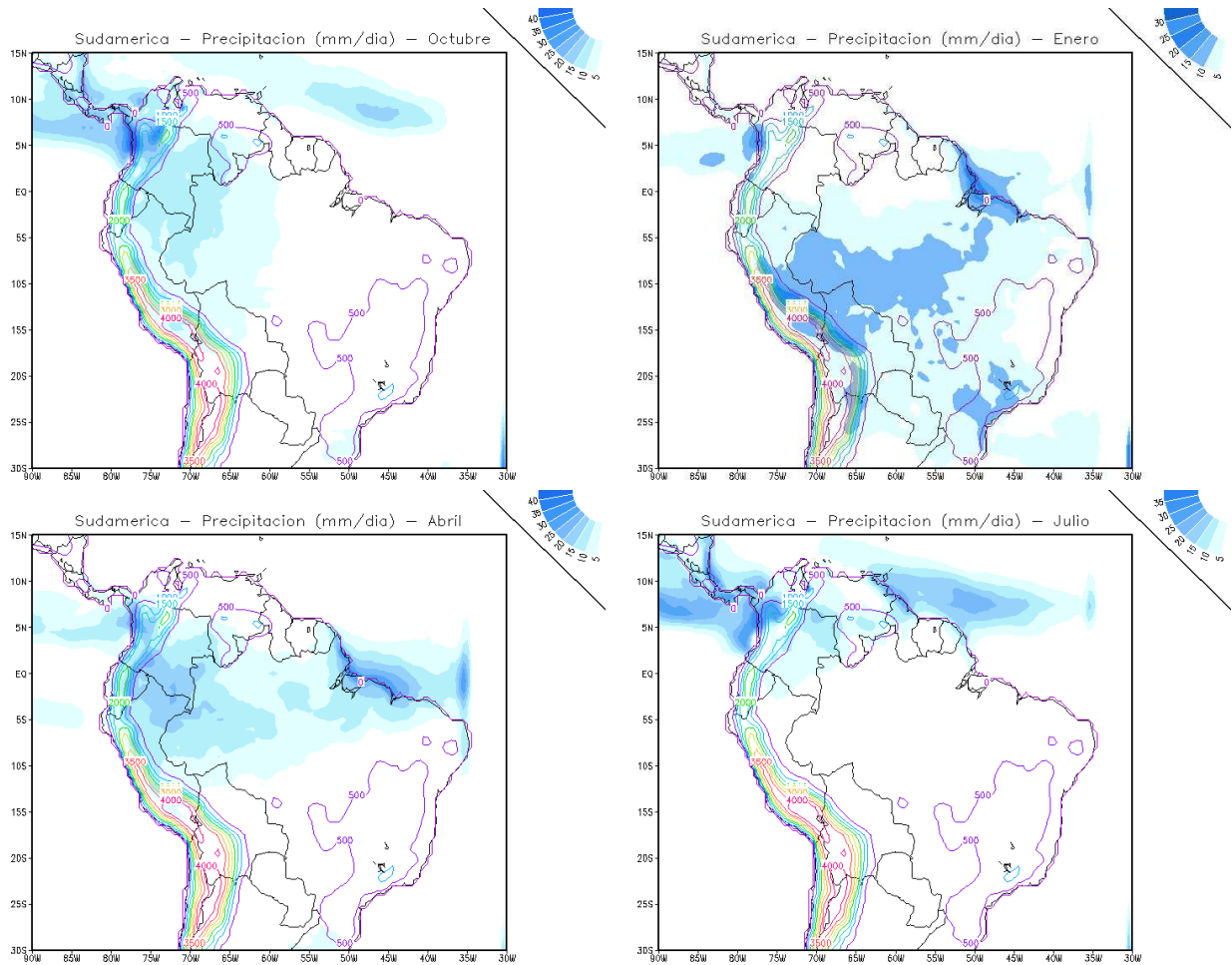


Figura 7. La Figura muestra la migración estacional de las precipitaciones durante la fase activa y pasiva del monzón sudamericano. Su fase de inicio comienza en la franja centroamericana y concentrada en el Pacífico colombiano, dos meses después se centra en los Andes Centrales y la Cuenca Amazónica del Brasil, dos meses después el movimiento se dirige hacia el flanco oriental de los países del Ecuador y Colombia para finalmente arribar en Centro América.

el flanco oriental de la cordillera andina en los países del Ecuador y de Colombia con  $25 \left[ \frac{mm}{dia} \right]$ . En pleno invierno Austral la ausencia de precipitaciones se hace muy notoria y las lluvias se concentran entorno a Centro America con  $30 \left[ \frac{mm}{dia} \right]$ . Puede decirse que durante la fase activa del monzón, las precipitaciones siguen la migración estacional del Sol en el continente sudamericano y la vorticidad anticiclónica que se observa en la altiplanicie boliviana coadyuva a su intensificación, mientras que en la fase pasiva, la dilusión de la alta boliviana se hace patente y con ello las precipitaciones. A estas alturas, la Zona de Convergencia Intertropical juega un papel de sintonizador con el movimiento estacional de las masas de aire en los niveles bajos.

#### 4. CONCLUSIONES

Con base a los datos generados por el modelo océano-atmósfera iROAM y los aportados por NCEP-Reanálisis, se procedió a extraer la componente anual de dichos datos y elaborar la climatología correspondiente, en ese sentido se puede observar la estacionalidad de los vientos en los niveles bajos de la troposfera que virtualmente nos

da el caracter monzónico en el continente sudamericano. En los niveles bajos se puede evidenciar la presencia de Chorros de masas de Aire que se aceleran debido a la presencia de la cordillera andina, en especial en la parte central donde estos Chorros o corrientes cobran fundamental importancia por su aporte de humedad y precipitaciones a la región. La incursión de estos Chorros en el continente tiene que ver el clima en la región y la formación de sistemas de complejos convectivos de mesoescala durante la fase activa del monzón. Por otro lado, cobra vital importancia la presencia en los niveles altos de la troposfera la formación de una vorticidad anticiclónica ( $\zeta > 0$ ) en pleno altiplano boliviano ( $20^{\circ}S - 65^{\circ}W$ ) que se vino a denominar en la comunidad meteorológica de la Alta boliviana, su presencia tiene que ver con la estación lluviosa en gran parte de la cuenca endorreica y la amazonía boliviana, su presencia en suelo boliviano dura aproximadamente dos meses y medio e inclusive dependiendo de la variabilidad interanual que presente éste puede extenderse los tres meses y medio.

El corte transversal longitudinal a los  $12,5^{\circ}S$  y  $15,0^{\circ}S$  de latitud nos muestra la presencia de la Corriente en

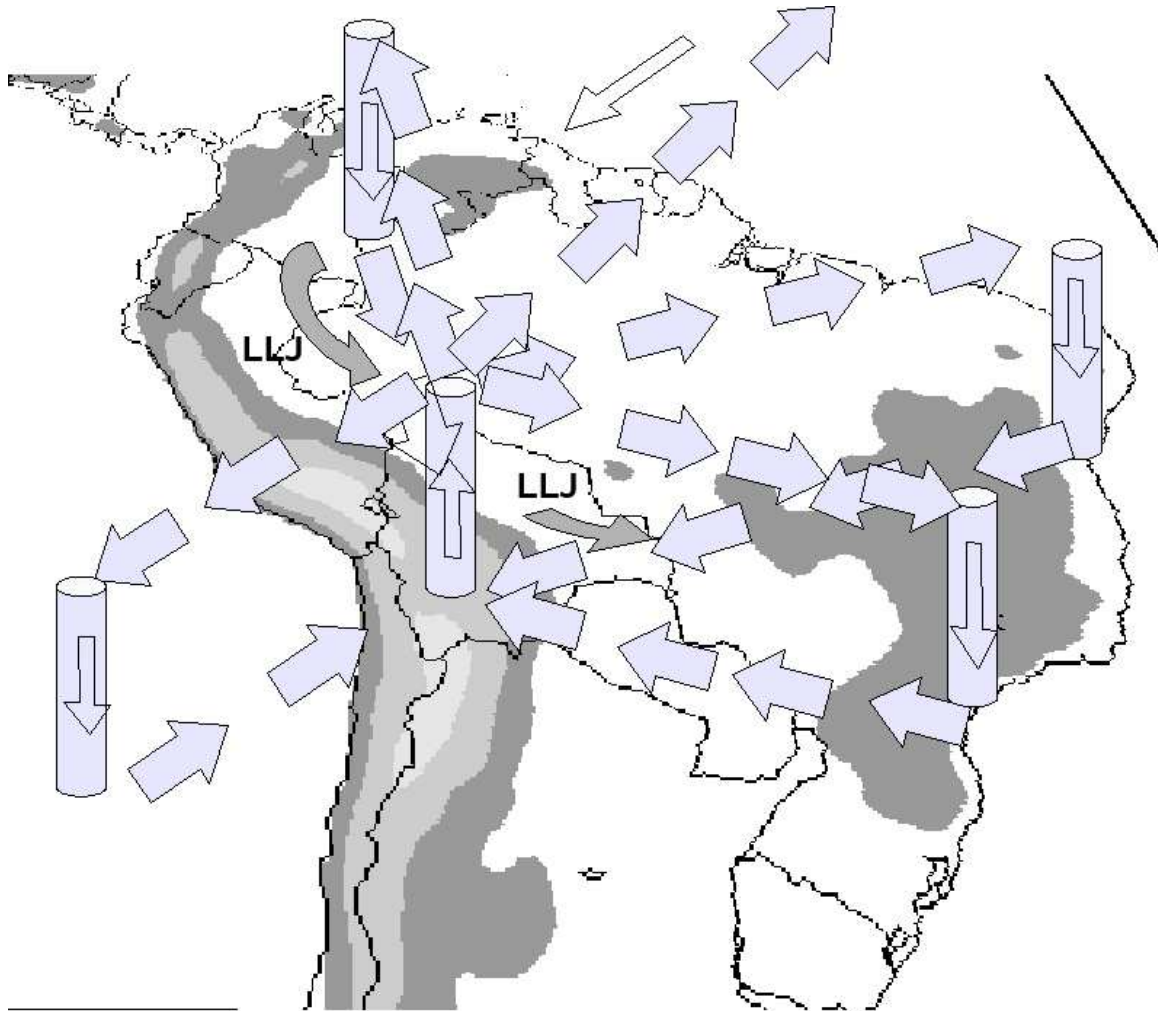


Figura 8. Se muestra el modelo conceptual para la circulación atmosférica sobre territorio boliviano durante la fase activa del monzón sudamericano con base a los datos aportados por el modelo IROAM.

Chorro de los niveles Bajos (CCBS) para la estación del verano austral, su intensidad y ubicación en la ladera oriental de los Andes Centrales versa los  $800 - 900 hPa$  con  $5 \left[ \frac{m}{s} \right]$ , lo que garantiza el aporte de humedad en la región y con ello las precipitaciones que acompañan a ésta, acompañan a ésta corrientes de aire intenso en los niveles altos, el sentido de movimiento de esta Corriente en los niveles bajos se orienta hacia el polo sur. En el invierno Austral, el corte vertical longitudinal a los  $20,0^{\circ}S$  muestra la Corriente en Chorro pegada a la ladera oriental de la cordillera andina con una magnitud de  $8 \left[ \frac{m}{s} \right]$ , ubicándose en torno los  $700 - 800 hPa$ . El mismo corte pero entrada la estación de primavera vuelve a evidenciar la presencia de esta Corriente en los  $700 hPa$  con una magnitud de  $6 \left[ \frac{m}{s} \right]$ , a estas alturas de ambas estaciones se puede evidenciar la inversión en el sentido de movimiento de esta Corriente en Chorro, tanto en el invierno como primavera Austral, dicha Corriente va dirigida hacia el norte del continente sudamericano.

La estructura termodinámica de estas Corrientes en Chorro de niveles Bajos parece no evidenciar la condición de baroclinicidad en el núcleo de estos y con ello la

génesis que les precede, sin embargo los cortes verticales  $20,0^{\circ}S - 63,0^{\circ}W$  muestran una cortante de viento en los 18 UTC como signo de actividad y formación de sistemas de complejos convectivos de mesoescala, que están bien documentados vía imágenes de satélite.

Los cortes longitudinales a  $25,0^{\circ}S - 0^{\circ}$  centrado en  $68,0^{\circ}W$  evidencian el forzamiento ascensional de las masas de aire hacia los niveles altos de la troposfera, en donde se evidencia la divergencia horizontal de los vientos a esa altura, claramente se ve la influencia del carácter orográfico que ejerce los Andes Centrales. Para el verano Austral se puede observar movimientos de masas de aire ascendente en el extremo norte y sur de Bolivia (Ixiamas - Salar de Coipasa-Uyuni). En el invierno Austral es notorio ver la subsidencia de masas de aire a casi todo el largo latitudinal, sinónimo de buen tiempo y soleado.

La presencia del monzón en sudamerica acompaña la migración estacional de las precipitaciones, su fase de inicio se originan en la línea ecuatorial y migra hacia la región muy pegada a la ladera oriental de la cordillera andina y amplificándose hacia la cuenca de la amazonía boliviana y brasileña, su máximo de aporte es de los  $300 \left[ \frac{mm}{mes} \right]$ .



La figura 8 ilustra un modelo conceptual relativo a la circulación monzónica sobre territorio boliviano. En ésta se puede evidenciar cómo la alta boliviana o vorticalidad anticiclónica se distribuye hacia lo largo y ancho del continente sudamericano. Su presencia en suelo boliviano, en especial en la altiplanicie de éste, muestra la fuerte actividad convectiva hacia los niveles altos de la tropósfera, tal como se evidencia en la figura 7 durante la fase activa del monzón sudamericano.

#### REFERENCIAS

- [1] Douglas, M. W., Peña, M., and Villalpando, R.: Special Observations on the low level flow over eastern Bolivia during the 1999 atmospheric mesoscale campaign, Extended Abstracts of the 6th Inter.Conf. on the Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 3-7 April 2000, Santiago, Chile, 157/58, 2000.
- [2] Horel, J.D., A. N. Hahmann, and J. E. Geisler, 1989: An Investigation of the cycle of convection activity over the tropical Americas, *Journal Climate*. 2, 1388-1403.
- [3] Li, W., and R. Fu. 2003: Transition of the large-scale atmospheric and land surface conditions from dry to the wet season over Amazonia as diagnosed by the ECMWF Re-analysis. *Journal Climate*, in press.
- [4] Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- [5] Xie, S.P., and Coauthors, 2006: A Regional Ocean-Atmosphere Model for Eastern Pacific Climate: Toward Reducing Tropical Biases. *Journal of Climate* 20: 1504-1522.
- [6] Zhou J. lau K-M. 1998. Does a monsoon climate exist over South America? *Journal of Climate* 11: 1020-1040.