

# EL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO DE LA TROPOSFERA MEDIA ASOCIADO A LAS CONFIGURACIONES BARICAS Y LA MODIFICACION QUE INTRODUCE EL EFECTO DE SOTAVENTO EN SITUACIONES DE INCENDIOS FORESTALES<sup>1</sup>

Alvaro Mauro M. (\*)

**RESUMEN** - Se analiza el comportamiento que presenta el flujo de viento de la tropósfera media ( 850 Hpa) y su relación con la configuración del campo de presión atmosférica que se observan durante la ocurrencia de incendios forestales en Chile central durante el período 1987 a 1995. En el análisis del comportamiento del viento se consideran las tres categorías de sistemas de presión atmosféricos presente en Chile que se vinculan con los incendios forestales y además se tiene presente la modificación que ejerce la Cordillera de Los Andes en el flujo superficial de viento sobre el territorio chileno. El efecto de Sotavento que introduce el cordón cordillerano corresponde a vientos de componente Este que descienden desde la cordillera cuya característica es que produce un aumento de la temperatura del aire y una sequedad atmosférica en los niveles bajo de la atmósfera, producto de la compresión adiabática, condición que hace propicio el inicio, desarrollo, intensificación y propagación de los incendios forestales. Conocer los efectos que introduce la Cordillera de Los Andes en el flujo de viento sobre la zona centro sur del territorio de Chile, en los casos en que se presentan eventos riesgosos generados por los incendios forestales, junto con la observación y evolución de los fenómenos atmosféricos, permitiría la toma de medidas de mitigación para la sociedad.

## ANTECEDENTES

Según Noar (1979), la zona de la superficie terrestre comprendida entre los 25° y los 40° de latitud sur, presenta la frecuencia mayor de sistemas de alta presión (anticiclones) a través del año. La subsidencia provocada por los sistemas anticiclónicos, genera una inversión de temperatura, producto del descenso a gran escala de aire relativamente seco que se calienta por compresión adiabática, produciéndose por lo tanto a un cierto nivel, una brusca discontinuidad tanto en la temperatura como en el contenido de vapor de agua, al encontrarse con el aire marítimo frío y húmedo. Esta inversión térmica generada por la subsidencia, se caracteriza por un fuerte descenso del contenido de humedad del aire por sobre la inversión.

En el contexto de las configuraciones sinópticas y las características que presenta el tiempo atmosférico con relación a los incendios forestales Lourenço (1980, 1988, 1990), ha estudiado en Portugal las características atmosféricas y que resumidamente señalamos que son: Predominio anticiclónico desde las Azores hasta Europa central, dando origen a masas de aire continentales sobre Portugal con características secas y de cielo despejado. Con éstas condiciones predomina el efecto Foehn y que en Portugal es denominado "Soão". Este mismo efecto observado en ocasiones de grandes incendios en Chile central, Mauro (1997, 1998,1999) lo denomina efecto de sotavento.

Dacamara et al (1998), establece que en Portugal durante el período de verano se presentan condiciones sinópticas que favorecen o inhiben la ocurrencia de incendios. A través de un análisis de Componentes Principales, obtiene algunas correlaciones en las que relaciona los patrones atmosféricos con tipos de circulaciones que favorecen la ocurrencia de siniestros. Al respecto, señala tres tipos de circulaciones que afectan a la Península Ibérica y que en términos generales se asocian a dos patrones atmosféricos, uno relacionado con el anticiclón de Las Azores y el otro vinculado a vientos con componente del oeste.

En los incendios forestales de Croacia, específicamente en la isla de Hvar, Vucetic(1998) señala el efecto orográfico sobre el viento y su incidencia en los incendios. La modificación más importante ocurre en verano, cuando se presenta el efecto de sotavento denominado "Maestral" con flujos del Oeste y Noroeste.

Cuando el aire fluye desde barlovento y cruza una barrera orográfica, se produce el efecto de sotavento, el que genera un calentamiento del aire, un descenso de la humedad, por lo que este efecto contribuye a crear las condiciones que favorecen el desarrollo de incendios (Lourenço,1988; Mauro, 1997,1999).

Byram (1954) estableció que una de las características de más consistencia asociadas al desarrollo de incendios intensos es una corriente en chorro de bajo nivel, el cual presenta un perfil de viento que varía con la altura, el cual es negativo por sobre el chorro. Al respecto, es interesante mencionar el trabajo de Rutllant (1983), en que plantea la formación de ésta corriente en chorro a barlovento de la Cordillera de los Andes en Chile central, dando origen a lo que se denominan vientos de barrera, cuando se aproxima una dorsal cálida en la troposfera media. Producto de ésta circulación regional inducida por el relieve

---

(\*) Dpto. Ingeniería Geográfica. Universidad de Santiago de Chile.amauro@lauca.usach.cl

<sup>1</sup> Esta ponencia forma parte del proyecto Fondecyt n° 1990894

cordillerano, se observa, además, un flujo descendente del Este, el que genera un calentamiento local que se traduce en una inversión térmica superficial intensa.

Los vientos locales, conocidos como brisas, así como los vientos anabáticos y catabáticos, también juegan un rol en la generación de condiciones favorables a los incendios forestales.

La temporada de incendios forestales en Chile, se presenta, en general, en condiciones de alta presión, asociado a alta radiación, baja intensidad del viento, ausencia de precipitaciones, altas temperaturas y escasa nubosidad. En algunas situaciones, se observa una circulación del Este generando condiciones del efecto de Sotavento, lo que ocasiona un aumento en las temperaturas del aire, provocando una sequedad adicional del aire. Mauro y Quintanilla (1997) analizando las temporadas de incendios entre 1988 y 1993 en cuanto a las características de los sistemas de presión atmosféricos asociados a los siniestros obtienen las mismas conclusiones en cuanto a la configuración del Anticiclón del Pacífico y al efecto de vientos cálidos descendentes (efecto de sotavento) asociados a la circulación del Este.

A escala regional, se observa la presencia de un sistema térmico de baja presión atmosférica, conocida como Baja Costera o Vaguada Costera (Rutllant, 1994), el que se proyecta sobre la zona central de Chile y que en su etapa de inicio, genera vientos con componente del Este, reforzando la inversión térmica del sistema anticiclónico y aumentando el efecto de sotavento.

Durante el período estival, se refuerza la formación de la baja térmica continental sobre el centro de América del Sur, la que en ocasiones logra penetrar sobre nuestro territorio, dando origen a vientos desde la Cordillera de Los Andes, los que originan o refuerzan el efecto de vientos descendentes desde la cordillera con componentes del Este.

En cuanto a los efectos de los factores meteorológicos, Maracchi y Costantini (1998) señala que el tiempo atmosférico es el principal factor que influye en los incendios forestales, mientras que Gigliotti y Powell (1989), plantean que de todos los factores meteorológicos que afectan el desarrollo y velocidad de propagación del fuego, dos son los más importantes: la velocidad del viento y la humedad de combustión. Los principales efectos del viento son: aporte de oxígeno y remoción de productos de combustión, incrementando la intensidad del fuego y, aumento de la velocidad de propagación del fuego. Al respecto Rajhi (1992), señala que la circulación atmosférica aporta el oxígeno necesario para la combustión y se refiere a la influencia del viento de origen saheriano denominado Sirocco, el que se caracteriza por presentar una diferencia térmica superior a los 10°C entre la temperatura del termómetro seco y el termómetro húmedo.

Para la tipificación del campo isobárico caracterizado como evento meteorológico tipo y asociado con incendios forestales, se analizaron 293 casos seleccionados de incendios ocurridos en Chile central entre 1987 y 1995 y se agruparon en tres categorías, de acuerdo a las características que presentaba cada configuración bórica.

Del análisis realizado, las categorías definidas son:

Configuración Tipo A, correspondiente al predominio del Anticiclón del Pacífico Sur sobre el territorio chileno

Configuración tipo Bc, correspondiente a la penetración sobre el área centro-sur de Chile del sistema de Baja Presión Atmosférica de características térmicas, conocido como la Vaguada Costera.

Configuración Tipo Bt, correspondiente a la penetración sobre la zona central del territorio chileno del sistema de Baja Presión Atmosférica Continental, que se forma sobre el área central de América del Sur y que se conoce como la Baja Térmica Continental.

Con el fin de analizar las situaciones sinópticas que se asocian o vinculan con los incendios forestales, se utilizará la información proporcionada por el proyecto de reanálisis desarrollado por el National Center for Environmental Prediction (NCEP) y el National Center for Atmospheric Research (NCAR). (Karnay et al. 1996)

## **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO DE LA TROPOSFERA MEDIA (850 Hpa)**

### **1. COMPORTAMIENTO EN CONFIGURACION TIPO A**

La distribución que presenta la dirección del viento en los niveles superiores es correspondiente al campo bórico en superficie, destacándose que el efecto de sotavento se observa marcadamente en el nivel de 850 mbs y es de características suaves, es decir, vientos de baja intensidad.

El comportamiento del viento en el nivel de 850 Hpa presenta una dirección del cuadrante Sureste (Figura nº 1), en la cual se observa una predominancia de la dirección entre 100° y 150°. Este comportamiento del viento con una dirección que tiene una componente del Este, deja claramente

establecido el efecto de sotavento que ésta componente introduce sobre el territorio de Chile, es decir, un descenso del aire que se va calentando a medida que desciende desde la Cordillera de Los Andes, aumentando la sequedad del aire.

En cuanto al sentido de circulación se observa claramente una predominancia de la circulación antihoraria, es decir, existe una curvatura anticiclónica, lo que indica que la extensión del Anticiclón se refleja en éste nivel.

## **2. COMPORTAMIENTO EN CONFIGURACIÓN TIPO BC**

A nivel de superficie se observan variaciones en la dirección dependientes de la intensidad con que se presente la baja térmica, de manera que para aumentos en la presión atmosférica, es decir baja intensidad de la vaguada costera, la dirección del viento rota hacia los 180°, mientras que si la presión presenta un descenso, entonces el viento presenta un giro hacia los 270°, lo que señala un reforzamiento de la baja costera. En general, el viento de superficie correspondiente, pertenece al cuadrante Suroeste con una dirección predominante de los 240°. Lo anterior señala la mayor o menor penetración de la Baja Térmica Costera según sea la etapa de formación o desarrollo en que se encuentre dicho sistema de presión ciclónico.

Al nivel de 850 Hpa. , se presenta una circulación con componentes del cuadrante Noreste y Sureste con una dirección media de los 160°. Dada la proyección del Anticiclón del Pacífico Sur hacia el oriente de la Cordillera de Los Andes y la penetración de la Vaguada Costera, el efecto de sotavento se ve reforzado y de ahí la predominancia de los vientos con componentes del Este.

La estructura eólica de altura de la Figura nº 2 muestra ésta situación.

Si se observa ahora el campo de viento del nivel de 500 Hpa , las direcciones que predominan corresponden al cuadrante Suroeste con dirección media de los 250°, señalando que la estructura bórica del sistema ciclónico de la baja térmica no alcanza a los niveles superiores de la atmósfera y predomina el efecto del Anticiclón del Pacífico Sur. Lo anterior denota el carácter local y el origen termal del sistema ciclónico. La Figura nº 3 muestra el comportamiento del viento en éste nivel y asociado a la configuración de la Baja Térmica Costera.

## **3. COMPORTAMIENTO EN LA CONFIGURACIÓN TIPO Bt**

A pesar de la incursión de la Baja Térmica Continental sobre el área continental de Chile, el campo de viento en superficie mantiene el efecto generado por la brisa de mar , mientras que al observar el campo eólico de altura, se ve que en 850 Hpa, el efecto de la Baja Continental es más marcado, de manera que, el viento predominante es del cuadrante Sureste y en ocasiones del Noreste con dirección media de los 140°. Lo anterior muestra el efecto de la proyección de la baja térmica continental sobre la zona central de Chile, generando en éste nivel vientos con componentes del Este, característicos del efecto de sotavento. La Figura nº 4 ilustra esta distribución.

Si observamos la situación eólica correspondiente al nivel de 500 Hpa, podemos diferenciar el efecto de la baja continental que es mucho más profunda que la baja térmica costera. En efecto, de la figura nº 5 se aprecia una dirección predominante de los 270° y variaciones entre los cuadrantes Noroeste y Suroeste, dependiendo de la profundidad con que se presenta la baja continental. Lo anterior nos indica que éste sistema puede alcanzar el nivel de 500 Hpa , indicando una estructura más profunda y desarrollada que la vaguada costera.

En resumen, la circulación del viento presenta direcciones del cuadrante Suroeste a nivel de superficie con predominancia de los 250°, en tanto a nivel de 850 Hpa el cuadrante predominante es el Noreste, reflejando claramente el efecto de la baja continental proyectada desde la cordillera, y cuyo resultado genera sobre la zona central de nuestro territorio el efecto de sotavento, es decir el descenso de aire cálido y seco desde la cordillera.

## CONCLUSIONES

El efecto de Sotavento, que corresponde a un movimiento descendente de aire desde la Cordillera de Los Andes (movimiento de subsidencia), aparece como una característica importante a considerar en el caso de los incendios forestales, ya que incide directamente sobre el comportamiento de las variables atmosféricas de superficie y en muchos casos define su variación.

Este efecto se presenta en los tres tipos de configuraciones analizadas, pero con más énfasis en los casos de los sistemas ciclónicos de la Baja Costera (Bc) y la Baja Continental (Bt).

El Tipo de Circulación que adquiere el campo de viento, según la configuración, genera sobre la variable temperatura y la variable humedad, un efecto de calentamiento y sequedad, en distintos grados de intensidad, según si el cuadrante es del Noreste o Sureste. Si es del cuadrante Suroeste, entonces existe un aporte de humedad y una disminución de temperatura por efecto de la brisa de mar.

Este esquema de comportamiento puede ser fácilmente deducido de la conformación que adquieren las isobaras en el mapa isobárico de superficie y por ende la configuración que adquiere el campo de la presión atmosférica, aparece como un aspecto que debe ser considerado al momento de utilizar algún indicador.

Es indudable que el efecto de sotavento influye en las características térmicas e hídricas de superficie y por lo mismo, éste efecto cobra importancia al momento de analizar las condiciones atmosféricas propicias para el desarrollo o propagación de los incendios. En tal caso, en cualquier índice en que se quiera incluir los aspectos atmosféricos, el efecto de sotavento debe ser considerado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Dacamara, C. , Lajas, D. , Gouveia, C. and Pereira, J. 1998. A Statistical Model for Prediction of Burned Areas by Wildfires based on Circulation Types Affecting Portugal. In: Fire Meteorology. 14<sup>th</sup> Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol I. Portugal. p.1199- 1206.
- Gigliotti, P. and Powell, F. 1989. Review of Existing Knowledge of Effect of Meteorological Factors on Forest Bush and Grass Fires. IX Session of Regional Association V of the World Meteorological Organization. 39 pp.
- Karnay, E. et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society. March. 1996.
- Lourenco, L. 1980. Condições de Tempo favoráveis a ocorrência de Incendios Florestais. Biblios. Vol. LVI. Universidade de Coimbra. Portugal. p.653-673.
- Lourenco, L. 1988. Tipos de Tempo correspondentes aos grandes Incendios Florestais ocorridos em 1986 no centro de Portugal. Finisterra, XXIII, 46, Lisboa. p.251-270.
- Lourenco, L. y Goncalves, B. 1990. As situacoes Meteorológicas e a Eclousao-Propagacao dos grandes Incendios Florestais registados durante 1989 no centro de Portugal. II Congreso Florestal Nacional. Porto. 8 p.
- Maracchi, G and Costantini, R. 1998. A Meteorological Model for Forest Fire Forecast in Tuscany. In: Fire Meteorology. 14<sup>th</sup> Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol I. Portugal. p. 1085-1098.
- Mauro, A y Quintanilla, V. 1997. Características de los Sistemas de Alta Presión Atmosféricos asociados a los Incendios Forestales. El caso de la V Región de Chile Central. Revista Líder nº 4. Universidad de Los Lagos. Osorno. p. 73-84.
- Mauro, A. 1997. La Circulación del viento en la Tropósfera baja y media en situaciones de grandes Incendios Forestales en la V Región. En: Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas. p.425-440.
- Mauro, A. 1998. Sistemas Atmosféricos vinculados a extremos meteorológicos y su relación con desastres naturales ocurridos en Chile Central. Análisis de casos. Revista Geográfica de Chile "Terra Australis". nº 43. p.23-29.
- Mauro, A. 1999. Patrones Meteorológicos asociados a Incendios Forestales. El Campo de la Presión Atmosférica. Revista Geográfica de Chile "Terra Australis". Nº 44. P.19-30.
- Noar, F. 1979. Análisis Sinóptico en el Hemisferio Sur. Boletín O.M..M. XXVIII, N° 2 . p.119 - 130.
- Rajhi, M. 1992. Assistance Meteorologique a la lutte contre le Feu des Forets. In: Proceedings of the Workshop on "Météorologie et Incendies de Forêts". Editors: Rijks, D. and Ciesla, W. OMM - FAO. p. 37-53.

Reifsnyder, W. and Albers B. 1994. Systems for Evaluating and Predicting the effects of Weather and Climate on Wildland Fires. Special Environmental Report N° 11. WMO N°496. WMO. Geneva. 34 pp.

Rutllant, J. 1983. Vientos de Barrera en los Andes de Chile Central. Jornadas Nacionales de Física. Frontera. Universidad de la Frontera. Temuco. p.49-52.

Rutllant, J. 1994. On the generation of Coastal Lows in Central Chile. International Centre for Theoretical Physics. Internal Report.

Vucetic, M. 1998. The influence of Weather condition on Forest Fire on the Island of Hvar. In: Fire Meteorology. 14<sup>th</sup> Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol I. Portugal. p. 1295-1303

ANEXO

12Z 24DEC1993 direccion del viento850

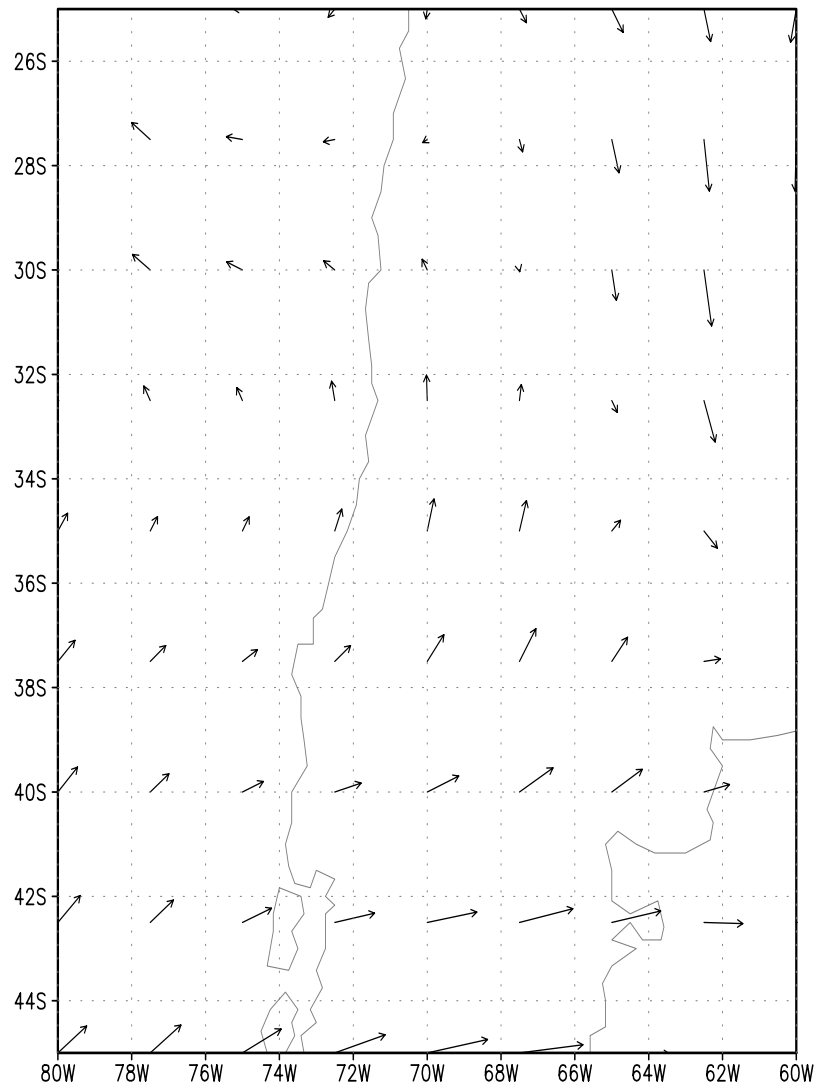


Figura N° 1: **El Campo de Viento en 850 Hpa.** Esta configuración correspondiente al día 24 de Diciembre de 1993 de las 12 UTC, muestra la distribución de la dirección del viento, en donde se puede observar que la componente sobre la zona centrosur del territorio chileno es del Sureste. El comportamiento general del viento señala claramente el sentido anticiclónico que le imprime el sistema de alta presión tipo A, generando una componente del Este en la circulación del viento, lo que provoca el efecto de sotavento.

12Z 05feb1995 direccion del viento850

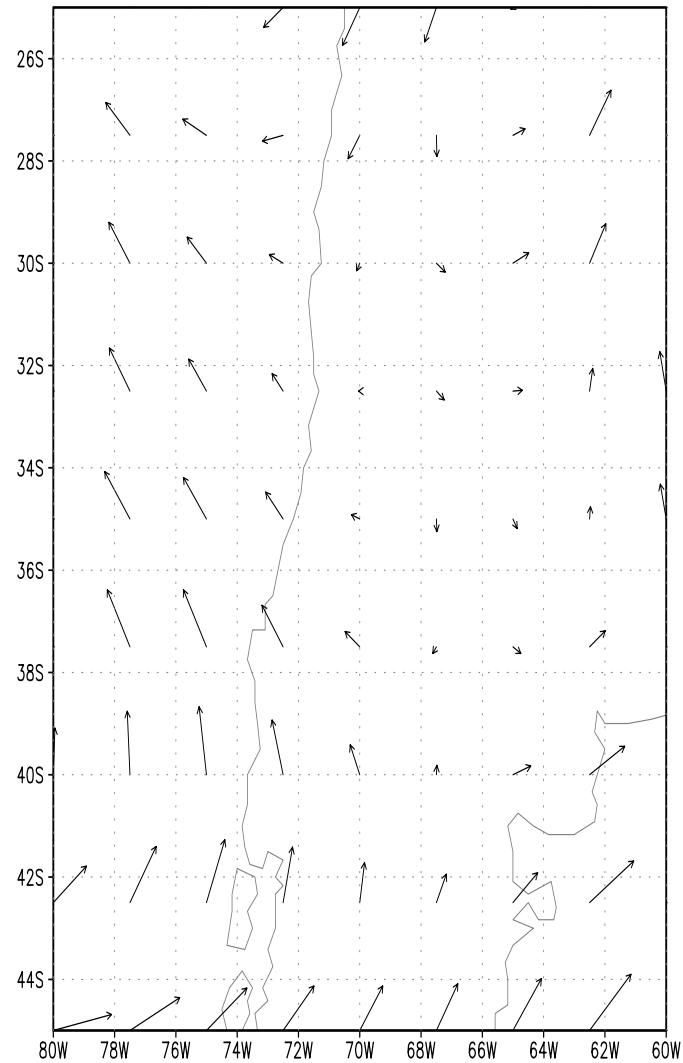


Figura N° 2. *El Campo de Viento en 850 Hpa.* La situación correspondiente al día 05 de Febrero de 1995 de las 12 UTC, muestra en forma clara el efecto de penetración desde el norte de la baja costera, en donde se puede observar la componente Noreste del viento, mientras que el extremo sur, la componente del viento es del Sureste, por efecto del Anticiclón del Pacífico, en donde el efecto de sotavento se presenta tanto por efecto de vaguada costera como por la circulación del Anticiclón.

# 12Z 02FEB1992 direccion del viento500

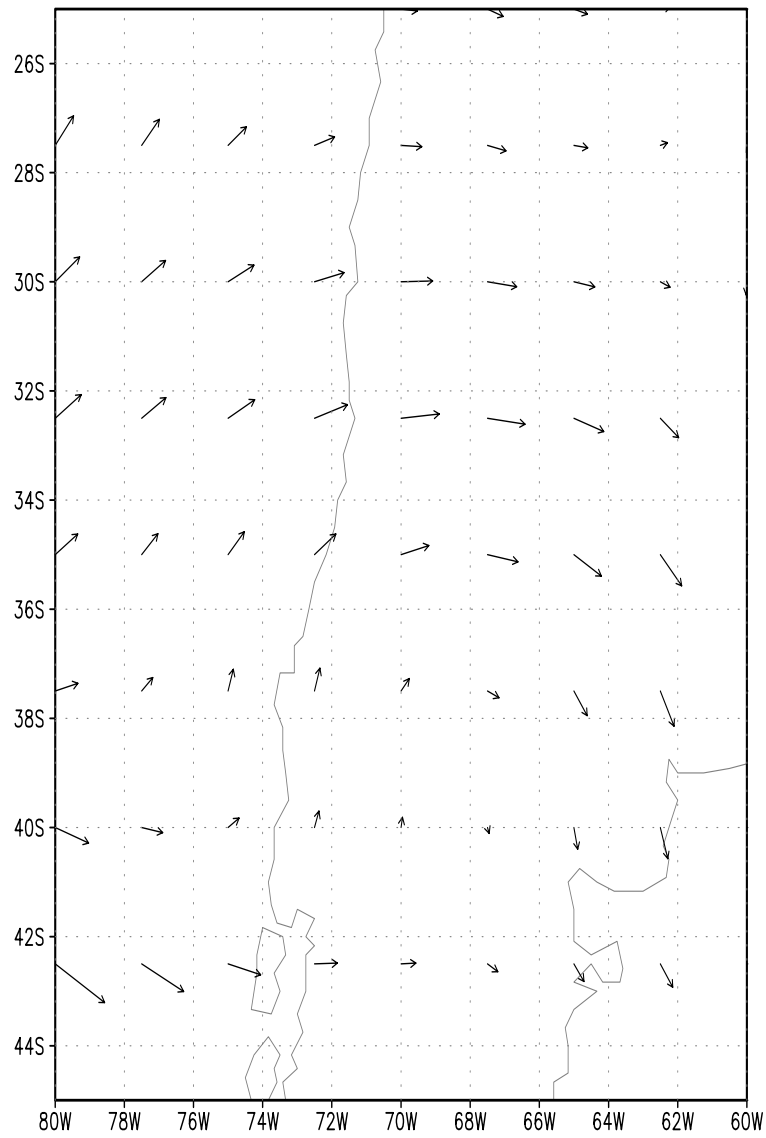


Figura N° 3. *El Campo de Viento de 500 Hpa.* La configuración eólica del día 02 de Febrero de 1992 de las 12 UTC, muestra el predominio de la circulación anticiclónica sobre el océano, con una componente del Suroeste, lo que señala que la baja térmica costera no alcanza a ejercer su efecto a éste nivel, restringiéndose su efecto solo a nivel local.



12Z 07DEC1989 direccion del viento850

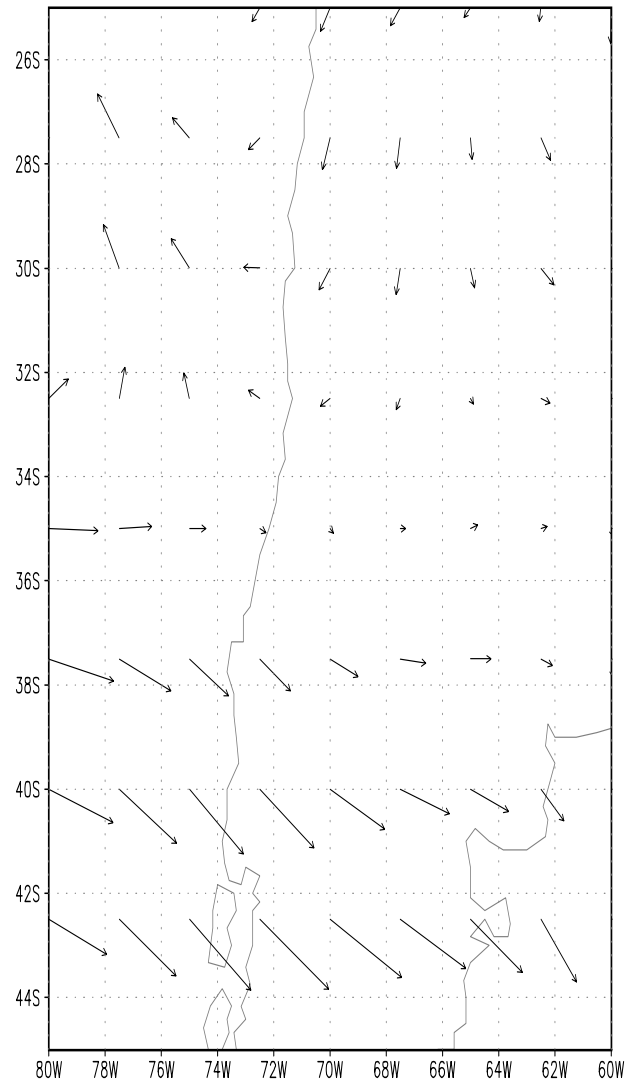


Figura N° 4: **El Campo de Viento del nivel de 850 Hpa.** La situación del día 07 de Diciembre de 1989 de las 12 UTC, nos señala el efecto de la Baja Continental sobre la zona central del país, en donde se aprecia la componente del cuadrante Noreste. Esta componente del Este refleja claramente el efecto de sotavento, con su correspondiente efecto de calentamiento y sequedad.

### 12Z 08feb1996 direccion del viento500

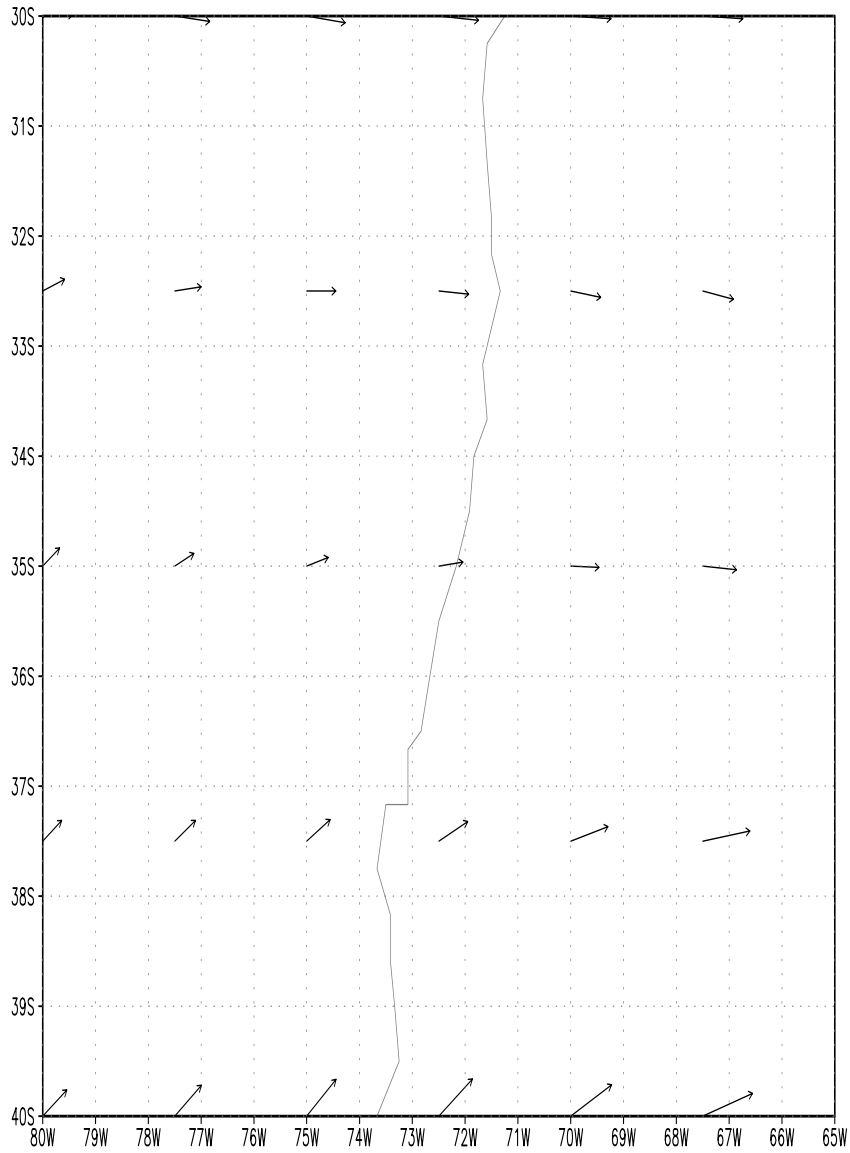


Figura N ° 5: *El Campo de Viento del nivel de 500 Hpa.* El campo eólico del día 08 de Febrero de 1996 de las 12 UTC, señala en forma clara que la componente del Oeste da cuenta en forma bastante suave del efecto de la baja continental en la parte norte de la zona central, y no así en el Sur en donde la dirección que se observa es del Suroeste, lo que muestra la predominancia del Anticiclón del Pacífico.