

**PATRONES DE CIRCULACIÓN ASOCIADOS A LOS EXTREMOS DE INDICE
SHOWALTER PARA LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE ARGENTINA**

Ana Laura Berman¹, Susana Amalia Bischoff²

¹ CONICET- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos,

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,

Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

alberman@at.fcen.uba.ar

Resumen

Conocer las condiciones atmosféricas de una región es importante especialmente cuando ellas están asociadas a la ocurrencia de tormenta y otros fenómenos de tiempo severos tienen impactos socio-económicos importantes.

Una forma de identificar estas condiciones atmosféricas es mediante el cálculo de índices de inestabilidad.

El objetivo de este trabajo es estudiar la variabilidad de la frecuencia anual de los valores extremos diarios del Índice Showalter y su relación con los campos de circulación de la Atmósfera. Para ello se utilizaron los datos de radiosondeo en Argentina: en las estaciones Ezeiza (34°35'S; 58°29'W), Resistencia (27°27'S; 59°03'W), Mendoza (32°50'S; 68°47'W), Comodoro Rivadavia (45°47'S; 67°30'W), Córdoba (31°19'S; 64°24'W) y Santa Rosa (36°34'S; 64°16'W), a las 12 Z, durante el periodo 1973-2005, desde el mes de Septiembre hasta el mes de Abril del siguiente año, obtenidos de la Universidad de Wyoming. (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

Se definieron los valores extremos del índice como aquellos contenidos en el 1% de la distribución en cada uno de los extremos. Un análisis de la frecuencia anual para cada una de las estaciones meteorológicas mostró una disminución de la ocurrencia de estos valores extremos asociados a casos inestables hacia fines del periodo y un aumento en la frecuencia de los valores extremos estables.

El composite de los campos de circulación para los casos de índice extremo estable la circulación atmosférica presentó, en el nivel de 500 hPa un dipolo con un centro de circulación ciclónica sobre la costa este del continente y un centro anticiclónico ubicado al oeste, sobre el Océano Pacífico y en el nivel de 850hPa el mismo dipolo, desplazados hacia el noroeste. Esta circulación advecta vientos fríos y poco húmedos de latitudes más altas que estabilizan las capas más bajas de la atmósfera dando lugar a la estabilidad.

Para los casos inestables el composite de circulación en 500hPa estaban asociados a un dipolo pero en fase invertida a los casos anterior, presentando una circulación débil anticiclónica sobre la costa este en el Océano Atlántico y un centro anómalo de circulación ciclónica ubicado sobre el sur del continente. En niveles bajos, 850hPa, esta circulación anticiclónica afectó toda la Argentina asociada a la advección desde el norte con altas temperaturas y humedad disponible para la convección, factor importante en el desarrollo de la inestabilidad en estas regiones.

Comparando los composites para los casos estables e inestables es común encontrar el dipolo invertido y en posición más meridional en el último caso.

Abstract

The understanding of regional meteorological conditions is critical for the prediction of storm

occurrence and other severe weather phenomena impacting society at the social and economy levels. Instability Indexes is one important parameter that controls the abovementioned weather phenomena. The goal of this work is to study the annual frequency variability of the extreme daily values of the Showalter Index (SI), and its relationship with circulation fields in the atmosphere. Data from the following radiosound stations in several regions of Argentina were collected: Ezeiza (34°35'S; 58°29'W), Resistencia (27°27'S; 59°03'W), Mendoza (32°50'S; 68°47'W), Comodoro Rivadavia (45°47'S; 67°30'W), Córdoba (31°19'S; 64°24'W), and Santa Rosa (36°34'S; 64°16'W), at 12 Z, during the 1973-2005 period. The data was collected from September to April of the following year by the University of Wyoming. The extreme values of the SI were defined as those values within the 1% distribution in each extreme. The analysis of the annual frequency for each of the stations showed a decrease in the occurrence of these extreme values associated with instable cases towards the end of the period, as well as an increase in the frequency of the stable extreme values. We also performed a spatial analysis on the anomaly fields of 500 and 850 hPa geopotential height in order to understand the connection between the circulation associated to each station with SI extremes. To answer this, we generated a composite with the dates for each stable and instable index values separately. Every case of stable extreme values showed an atmospheric circulation containing a dipole with a cyclonic circulation center over the east shore of the continent at 500 hPa, as well as an anticyclonic center located on the west, over the Pacific Ocean. The relative position of the dipole remains constant, but it shifts towards the north in the same direction as the reference stations. At 850hPa, all fields present the same dipole, however, the anticyclonic circulation is located all over the continent, from the south to the north of Argentina, with a cyclonic center towards the east. This type of circulation sends cold air masses, with low humidity, from higher latitudes, stabilizing this way the lower layers of the atmosphere thus generating stability. In the case of the unstable cases, the circulation patterns at 500hPa were also associated with a dipole with an inverted phase compared with the stability cases. This circulation had a weak anticyclonic pattern over the east coast on the Atlantic Ocean, and an anomaly center located over the south of the continent on the Argentinean patagonic region. At low levels, 850hPa, this anticyclonic circulation widely affected the Argentina region from the north with high temperatures and humidity available for convection, an important factor in the development of instability in the region. Our composite studies are in accord with the idea that composite comparisons between stable and instable cases generate an inverted dipole, with a more meridional position in the latter.

1. Introducción

La estimación de la inestabilidad atmosférica con el uso de índices de inestabilidad, generalmente requiere de cálculos basados sobre diferentes parámetros termodinámicos (Showalter 1953; George 1960; Boyden 1963; Jefferson 1963 a y b) sólo para nombrar algunos. Los índices de inestabilidad atmosférica, obtenidos a partir de los datos de radiosondeo diarios, miden el potencial de desarrollo de tiempo severo (en distintos grados) y son considerados representativos del entorno en la escala sinóptica. Su utilización para evaluar la presencia de la convección, ha sido un punto de partida en el pronóstico de convección por muchas décadas.

El objetivo de este trabajo es estudiar la variabilidad de la frecuencia anual de los valores extremos diarios del Índice Showalter y su relación con los campos de circulación de la Atmósfera.

En la búsqueda de antecedentes en la Argentina Moyano C. *et al.* (1972) analizaron la representatividad de índices de inestabilidad en el pronóstico de tormentas en el período septiembre 1969/febrero 1970. Otra aplicación de diferentes índices de inestabilidad puede encontrarse en Simonelli S. (2000), donde se utilizaron como una herramienta de pronóstico para la convección que se producía en la zona de Mendoza. Catuogno G. (1982) realizó un análisis de la distribución geográfica y estacional y su relación con la precipitación y ocurrencia de tormentas del Índice K de Whiting en la Argentina. Encontró que la marcha anual del índice para las estaciones subtropicales, es congruente con la mayor actividad convectiva observada en la mitad más cálida del año. Rosso L. *et al* (1987) analizaron diversos índices de inestabilidad y su rol como predictores de ocurrencia de precipitación en Ezeiza durante el período 1976/1978. Encontraron que los índices de Showalter (SI), Lifted (LI) y el potencial de bulbo húmedo son los mejores predictores de eventos convectivos para la muestra total del período de actividad convectiva en la región en estudio, aunque el índice K se identificó como el más apto en el período Diciembre a Febrero.

A nivel internacional se encontraron estudios sistemáticos de la aplicación de los índices de inestabilidad referidos a la comparación de diferentes índices de inestabilidad aplicados a desarrollos convectivos en la península de Grecia (Dalezios and Papamanolis 1991, entre otros). Recientemente DeRubertis (2006) hace un estudio climático de varios índices de inestabilidad para el área de los Estados Unidos, a partir de valores diarios en el período 1973 – 1997, para diferentes regiones de Estados Unidos. Al mismo tiempo hace una evaluación de la importancia de la inhomogeneidad introducida en el comportamiento de los índices, a la luz de cambios en los sensores de temperatura y humedad en los diferentes modelos de radiosondas.

2. Datos y metodología

Para este estudio se utilizaron los datos de las estaciones de radiosondeo en Argentina: Ezeiza (34°35'S; 58°29'W), Resistencia (27°27'S; 59°03'W), Mendoza (32°50'S; 68°47'W), Comodoro Rivadavia (45°47'S; 67°30'W), Córdoba (31°19'S; 64°24'W) y Santa Rosa (36°34'S; 64°16'W), a las 12 Z., durante el período 1973-2005, desde Septiembre hasta Abril del siguiente año, obtenidos de la Universidad de Wyoming. (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

Se definieron los valores extremos del índice como aquellos contenidos en el 1% de la distribución en cada uno de los extremos.

También se realizó un análisis espacial de los campos de anomalías de altura geopotencial a partir de los reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay, 1996) para 500 y 850 hPa, con el fin de conocer como es la circulación anómala asociada a cada estación, en relación con los valores extremos del índice. Para ello se construyó el composite con las fechas de los valores del índice estable o inestable por separado.

Las metodologías utilizadas fueron: análisis de la frecuencia anual para cada una de las estaciones meteorológicas, análisis de tendencia, composite de campos de anomalías de circulación atmosférica y test de Fisher (Panofsky 1965) para las pendientes de las tendencias.

3. Resultados

Se realizó la función de distribución de los valores diarios del Índice Showalter (SI) para cada estación meteorológica, se identificaron los extremos, resultando dos series 100 datos, una de casos estables y otra de casos inestables para cada una de las estaciones. A partir de estas series se realizaron todos los cálculos y se representaron campos de circulación asociados a

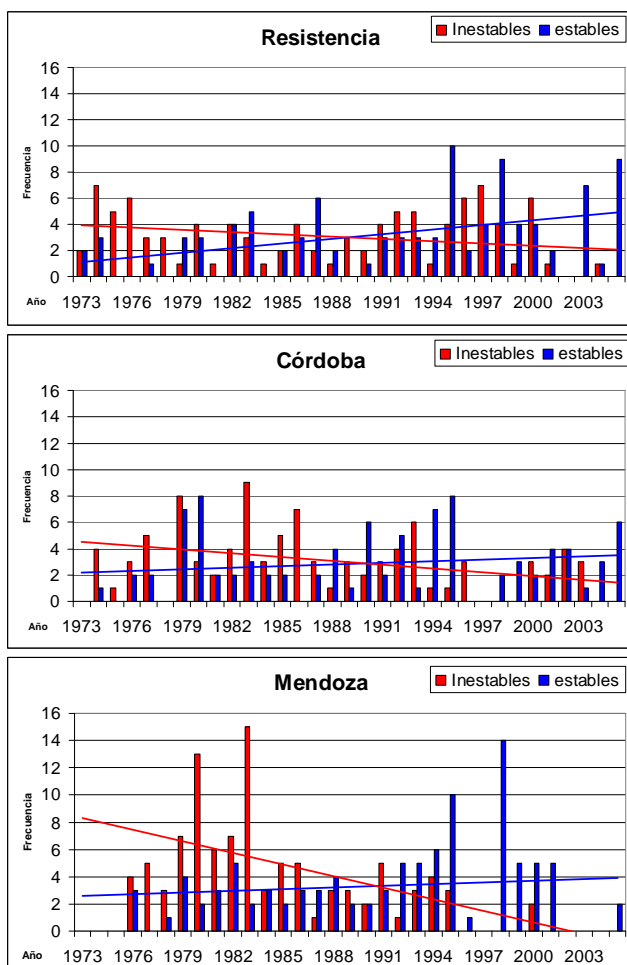
estas condiciones.

Análisis de frecuencia anual y tendencia

Se presentan en la figura 1 la secuencia de frecuencia anual de los valores extremos del SI seleccionados para todas las estaciones a lo largo de todo el periodo de estudio.

En general se puede observar un aumento de los casos estables y una disminución de los casos inestables menos para Santa Rosa. La mayor frecuencia de casos extremos inestables se da en la estación Mendoza mostrando máximos hasta de 15 valores anuales para el año 1983 y luego una rápida disminución al final del periodo. La estación meteorológica que presenta la menor frecuencia es Santa Rosa, con un comportamiento diferente a las demás, muestran frecuencias menores que el resto de las estaciones y ambas marchas aumentan a lo largo del periodo de estudio.

En todos los casos se graficaron las rectas de tendencia y se puede observar un cruce de estas alrededor del año 1990.



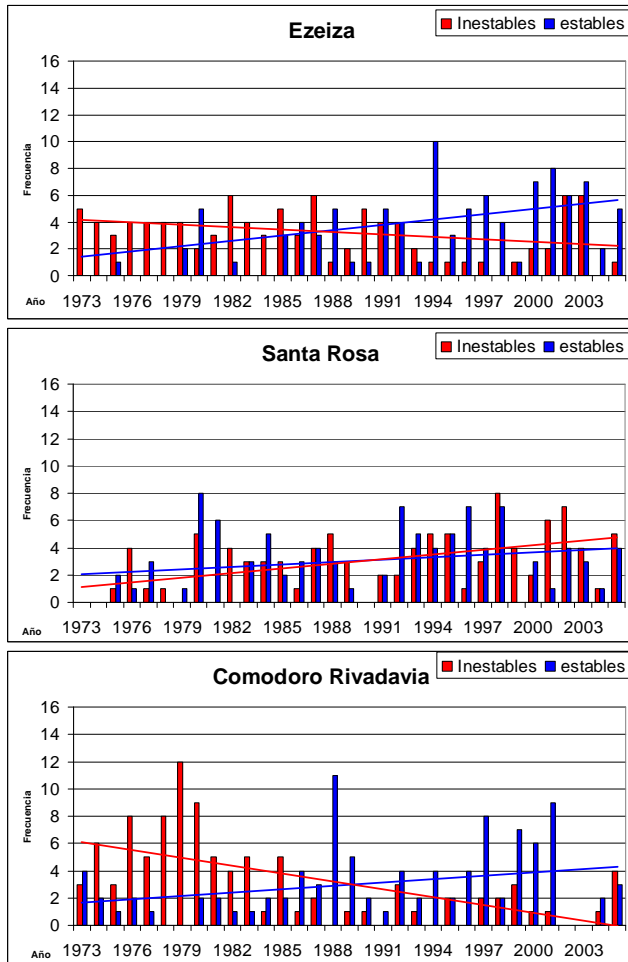


Figura 1: Frecuencia anual de los casos Estables e Inestables para las 6 estaciones meteorológicas.

Las rectas de tendencia se testearon mediante el Test de Fisher para identificar si las pendientes eran significativas al 5% también se calcularon los coeficiente de correlación que se muestran en la Tabla 1. Para todos los casos de estabilidad todas las estaciones presentan una pendiente positiva, la mayor ocurre en Ezeiza y la menor pendiente en Comodoro Rivadavia. Los casos inestables presentan una pendiente negativa, con excepción en la estación Santa Rosa, donde en módulo la de mayor pendiente es Mendoza y menor es Resistencia. Los valores que están en rojo en la tabla 1 indican valores r significativos al 5%. Todas las estaciones tienen al menos un valor significativo. Para las estaciones Resistencia, Mendoza, Ezeiza y Santa Rosa la estabilidad ha aumentado significativamente al 5%, mientras que para Córdoba, Ezeiza y Comodoro Rivadavia la inestabilidad a disminuido significativamente 5%.

Estación	Estable	Inestable
Resistencia	$Y = 0,120 X + 0,954$	$Y = - 0,058 X + 3,983$
Córdoba	$Y = 0,040 X + 2,169$	$Y = - 0,095 X + 4,577$

Estación		Estable	Inestable
Resistencia	r	0,41	0,27
	r ²	0,19	0,07
Córdoba	r	0,16	0,38
	r ²	0,03	0,15

Mendoza	$Y = 0,041 X + 2,576$	$Y = - 0,283 X + 8,576$	Mendoza	r	0,81	0,12
				r ²	0,46	0,14
Ezeiza	$Y = 0,132 X + 1,177$	$Y = - 0,060 X + 4,203$	Ezeiza	r	0,48	0,34
				r ²	0,20	0,11
Santa Rosa	$Y = 0,113 X + 1,025$	$Y = 0,059 X + 1,983$	Santa Rosa	r	0,48	0,25
				r ²	0,23	0,06
Comodoro	$Y = 0,083 X + 1,590$	$Y = - 0,191 X + 6,244$	Comodoro	r	0,30	0,62
				r ²	0,09	0,38

Tabla 1: rectas de tendencia, coeficiente de correlación y correlación cuadrada para los casos Estable e Inestables de cada estación meteorológica.

Campos de Circulación

La Figura 2 muestra los campos medios de circulación anómala asociados a los días de ocurrencia de valores extremos de SI, a modo de ejemplo se presentan solo los campos de circulación de la estación meteorológica Córdoba Aero, porque la estructura es similar para el resto de las estaciones aunque desplazada de forma relativa.

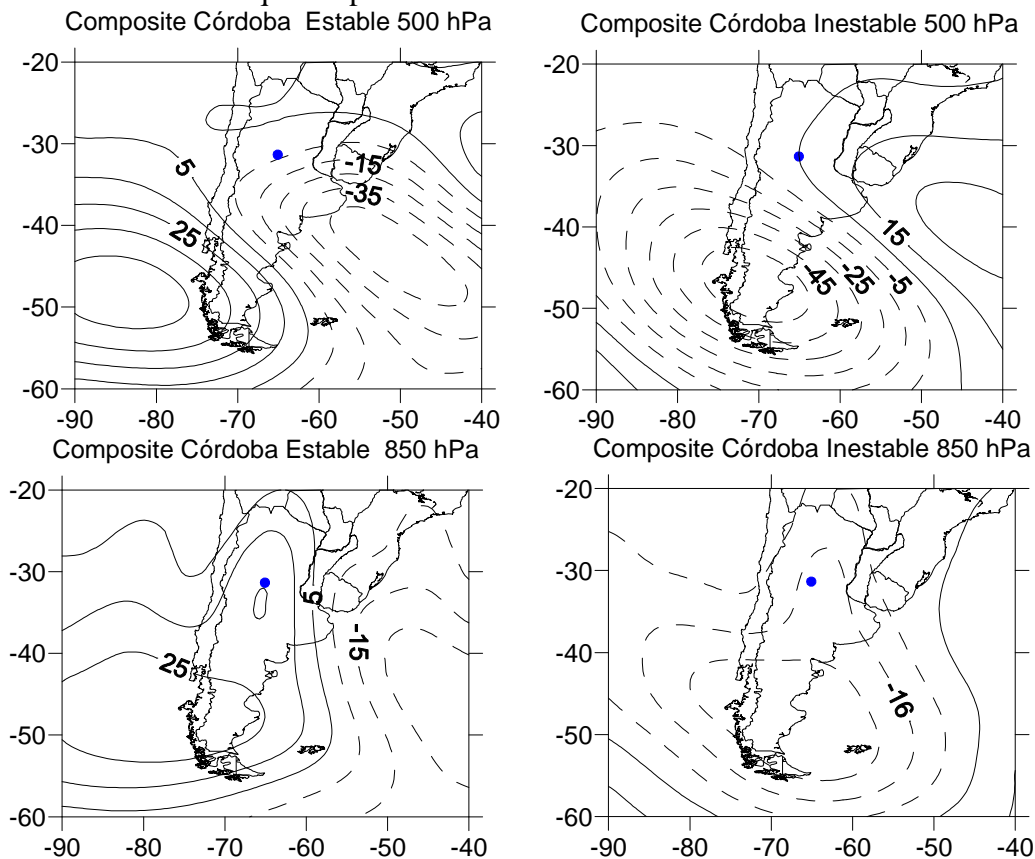


Figura 2: Composite de los casos Estables e Inestables para la Estación Córdoba Aero en los niveles de 500 y 850 hPa

En todos los casos de SI extremo estable la circulación anómala en el nivel de 500 hPa mostró un dipolo con un centro de circulación anómala negativa sobre la costa este del continente y un centro anómalo positivo ubicado al oeste, sobre el Océano Pacífico. Para el nivel de 850hPa la circulación anómala positiva esta ubicada sobre el continente, abarcando el sur y

parte del norte argentino, con un centro anómalo negativo hacia el este. Esta circulación advecta vientos fríos y poco húmedos de latitudes más altas que estabilizan las capas más bajas de la atmósfera dando lugar a la estabilidad en la zona de Córdoba.

Para los casos inestables los patrones de circulación en 500hPa están asociados también a un dipolo pero en fase invertida a los casos anteriores, presentando una circulación débil positiva sobre la costa este en el Océano Atlántico y un centro anómalo de circulación anómala negativa ubicado sobre el sur del continente sobre la Patagonia Argentina. En niveles bajos, 850 hPa, esta circulación anómala negativa afectó toda la Argentina asociada a la advección desde el norte de altas temperaturas y humedad disponible para la convección, factor importante en el desarrollo de la inestabilidad en estas regiones.

Comparando los composites para los casos estables e inestables es común encontrar el dipolo invertido y en posición más meridional en el último caso. La posición relativa del dipolo en ambos niveles es la misma pero se desplaza hacia el norte conforme se desplazan en la misma dirección las estaciones de referencia tanto como para casos estables como inestables.

4. Conclusiones

Las características de inestabilidad a partir del índice Showalter obtenidos de los datos diarios de radiosondeos, 12 Z, durante el periodo 1973-2005, de septiembre hasta abril del siguiente año para las estaciones meteorológicas: Ezeiza, Resistencia, Mendoza, Comodoro Rivadavia, Córdoba Aero y Santa Rosa muestran las rectas de tendencia un cruce de estas alrededor del año 1990. Para las estaciones Resistencia, Mendoza, Ezeiza y Santa Rosa la estabilidad ha aumentado significativamente al 5%, mientras que para Córdoba, Ezeiza y Comodoro Rivadavia la inestabilidad ha disminuido significativamente 5%.

El patrón de circulación de anomalías para la estación de Córdoba muestra que en los casos extremos *estables* del índice en 500 hPa, un dipolo con un centro anómalo negativo sobre la Patagonia Argentina y un sistema positivo sobre el Océano Atlántico cerca de Uruguay. En 850 hPa se presenta un sistema anómalo negativo extendido sobre todo el sur del continente.

En los casos de extremos *inestables*, en 500 hPa, se observa la fase opuesta al caso anterior, con un centro anómalo positivo al sur del continente y otro negativo sobre la parte este de Argentina. En 850 hPa, el campo presenta un sistema positivo de anomalías sobre el sur del continente.

5.- Bibliografía

Bischoff S, Coronel A. 1989: Características estadísticas de las masas de aire en la troposfera de la región húmeda argentina. *Geoacta* 16(2): 207-219.

Bischoff S. A., Vargas W. M., 2003: The 500 and 1000 hPa weather type circulations and their relationship with some extreme climatic conditions over southern South America. *International Journal of Climatology*, Vol. 23, 541-556.

Bluestein, H. B. 1993: *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes: Vol. 2*, Oxford University Press. 594 pp.

Coronel A., 2001: *Climatología sinóptica de las masas de aire que afectan la República Argentina*. Tesis Doctoral, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.

Dalezios, N.R. and Papamanolis, N.K., 1991: Objective assessment of instability indices for operational hail forecasting in Greece, *Meteorol. Atmos.* 45, 87-100.

DeRubertis, D. 2006: Recent trends in four common stability indices derived from U.S. radiosonde observations. *Journal of Climate*, Vol 19, 309-324.

Galway J.G., 1956: The lifted index as a predictor of latent instability. *Bull. Amer. Meteor.*

Soc., 37,528–529.

George, J.J., 1960: Weather and Forecasting for Aeronautics. Academic Press.673 pp.

Kalnay, E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewsky C., Wang J., Jenne R., and Joseph D., 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-471.

Marinaki A., Spiliotopoulos M. and Michalopoulou H., 2006: Evaluation af atmospheric instability índices in Greece. Advances in Geosciences, 7, 131-135.

Michalopoulou, H. and Jacovides,C., 1987: Instability Indices for the Cyprus Area. Meteorol. Atmos. Phys., 37, 153-158.

Moyano M. C., Blanco, V.A. y Cassinelli E. J.,1972: Análisis comparativos de índices de inestabilidad como predictores de fenómenos convectivos. Meteorológica, Vol.:III, pag.135-156.

Rosso L.C., Quinteros R. de Canturra y de Lazaro, S. Q.,1987: Indices de inestabilidad como predictors de ocurrencia de precipitación. II Congreso Interamericano de Meteorología. V Congreso Argentino de Meteorología.; Anuales, pag. 3.2.1-3.2.4.

Showalter, A.K., 1953: A stability index thunderstorm forecasting. Bull. Amer. Meteor. Soc., 34, 250-252.

Simonelli S. C., 2000: Modelo estadístico de Pronóstico de Convención para la zona norte de la Provincia de Mendoza. Trabajo de Tesis Doctoral, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.

Agradecimientos: Proyecto UBACyT X016 y PICT 26094-04