

UTILIDAD DEL ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA CARACTERIZAR SONDEOS ESTIVALES Y OCURRENCIA DE CONVECCIÓN EN EL NORTE DE MENDOZA

Silvia C. Simonelli y Diego C. Araneo

Programa Regional de Meteorología, IANIGLA-CONICET
Mendoza, Argentina

RESUMEN

La convección en la provincia de Mendoza tiene características particulares y en la mayoría de los casos presenta una importante severidad que impacta tanto económica como socialmente.

En este trabajo se prueba la utilidad del Análisis de Componentes Principales para caracterizar los radiosondeos estivales del Norte de Mendoza, evaluando además su capacidad para identificar patrones asociados a la ocurrencia de convección.

Se tomaron 326 casos del período octubre-marzo para los años 1987/88, 1989/90 y 1990/91 y enero-febrero de 1995, construyendo una matriz de entrada con las anomalías de temperatura y temperatura de punto de rocío de los niveles significativos entre 850 y 300 hPa.

El análisis arrojó 6 componentes significativas que explican más del 91% de la varianza del sistema. Así se obtuvieron 12 patrones característicos bien diferenciados, dado que los modelos resultantes representan condiciones atmosféricas distintas en sus modos directo e inverso; los cuales pueden relacionarse claramente con varios sondeos de entrada, presentando factores de carga superiores a 0.8 en numerosos casos.

Las mayores correlaciones entre casos de convección (C) y no convección (NC) con cada una de las componentes de carga se obtuvieron con las componentes 6, 2, 4 y 3. Las componentes 1 y 5 no discriminan entre casos C y NC. El análisis de los patrones revela que la convección se favorece con sondeos húmedos (principalmente con una capa saturada en niveles superiores), mientras se inhibe con capas secas en niveles medios. Los campos sinópticos correspondientes a los días con mayor factor de carga para cada componente, muestran situaciones asociadas a pasajes frontales en el caso C de las componentes 4 y 6; y un anticiclón del Pacífico desplazado a latitudes más bajas junto a una baja presión en el Noreste argentino para los NC. Sin embargo, las situaciones sinópticas seleccionadas para las componentes 2 y 3 no exhiben características distintivas entre casos C y NC.

Aun cuando este análisis resultó satisfactorio para discriminar tipos característicos de sondeos C y NC, se realizaron pruebas de rotación varimax a las componentes significativas halladas, comparando los resultados con los anteriores e identificando diferencias.

Palabras clave: Norte de Mendoza, radiosondeos, convección.

THE UTILITY OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS TO CHARACTERIZE SUMMERY SOUNDINGS AND THE OCCURRENCE OF CONVECTION IN THE NORTH OF MENDOZA

ABSTRACT

The convection in Mendoza's province has particular characteristics and in most of the cases it presents an important severity that impacts so much economic as socially.

In this work we test the utility of the Principal Components Analysis to characterize the summery North Mendoza rawinsondes, also evaluating their capacity to identify patterns associated to the convection occurrence.

Correo electrónico: scs@prmarg.org

It was selected 326 cases of the October-March period for the years 1987/88, 1989/90 and 1990/91 and January-February of 1995, building an entry matrix with the temperature and dew point temperature anomalies for the significant levels between 850 and 300 hPa.

The analysis showed 6 significant components that explain more than 91% of the system variance. Therefore, 12 different characteristic patterns were obtained, since the resulting models represent different atmospheric conditions in their direct and inverse ways; which can be related clearly with several original soundings, with factor loadings greater than 0.8 in several cases.

The main correlations between convection (C) and non convection (NC) cases and each one of the component loadings were obtained for the components 6, 2, 4 and 3. The first and fifth components do not discriminate against the C and NC cases. The analysis of the patterns reveals that the convection is favoured with humid soundings (mainly with a saturated layer in superior levels), while it is inhibited with dry layers in middle levels. For the C cases, the synoptic fields corresponding to the greater factor loadings, were associated to front passages for the components 4 and 6; while the NC cases were associated to an anticyclone of the Pacific displaced to lower latitudes as well as a low pressure in the Argentinean Northeast. However, the synoptic situations selected for the components 2 and 3 do not show distinctive characteristic among the C and NC cases.

Even this analysis was satisfactory to discriminate characteristic C and NC soundings, it was tested the varimax rotation for the significant components, comparing the results with the previous ones and identifying differences.

Keywords: North of Mendoza, rawinsondes, convection.

1. INTRODUCCIÓN

La convección en la provincia de Mendoza, por su ubicación a sotavento de la Cordillera de los Andes, tiene características particulares, especialmente en la zona norte, donde la circulación local se ve fuertemente condicionada por los efectos dinámicos y termodinámicos producidos por la orografía. La presencia de zonas cultivadas y regadas, en contraste con otras caracterizadas por escasa vegetación, son otros factores capaces de generar circulaciones locales en el llano. En la mayoría de los casos se observa una importante severidad que impacta económica y socialmente.

El período de mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas convectivas se encuentra entre los meses de octubre y marzo, pudiéndose registrar también algunos eventos en los meses de septiembre y abril (PNLAG, 1978/82). Saluzzi (1983) mostró que la convección es generalmente vespertina, con un máximo principal en las primeras horas de la noche y uno secundario en horas de la madrugada, observándose excepcionalmente convección en horas de la mañana.

Metodologías semiobjetivas de pronósticos de convección mediante el uso de radiosondeos diarios fueron desarrolladas inicialmente por

Grandoso e Iribarne (1963, 1965). Posteriormente fueron incorporados los índices de inestabilidad y los productos obtenidos de un modelo numérico unidimensional y estacionario de nube (Ghidella y Saluzzi, 1980). Simultáneamente, Nicolini (1980) incorpora el análisis de la hodógrafa del viento a fin de relacionarlas con la estructura de las células convectivas. Recientemente, Simonelli (2000) desarrolló un modelo estadístico de para el pronóstico de convección utilizando el análisis discriminante.

En este trabajo se testea la utilidad del Análisis de Componentes Principales para caracterizar los radiosondeos estivales del Norte de Mendoza, evaluando además su capacidad para identificar patrones asociados a la ocurrencia de convección.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Se tomaron 326 radiosondeos de las 12 UTC realizados en la Estación Aerológica Mendoza-Aero perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional, correspondientes al período octubre-marzo para los años 1987/88, 1989/90 y 1990/91 y enero-febrero de 1995, construyendo una matriz de entrada con las anomalías de temperatura (T) y temperatura de punto de rocío (Td) de los niveles significativos entre 850 y 300 hPa.

Adicionalmente se utilizaron datos de altura geopotencial provenientes del Reanálisis 1 del NCEP (National Centers for Environmental Prediction) (Kalnay et al., 1996) para la caracterización sinóptica de las situaciones meteorológicas asociadas a los diversos patrones de sondeo.

Para el cálculo de las Componentes Principales, se dispusieron los datos de sondeo formando un arreglo matricial $\mathbf{X}_{[10 \times 326]}$ en el cual las filas contienen los valores correspondientes a cada nivel de presión para la T (filas 1 a 5) y Td (filas 6 a 10); y cada columna representa el sondeo de un día determinado. Dado que el sondeo constituye una variable en la cual el sondeo medio explica casi la totalidad de la varianza, se procedió a la remoción del mismo, obteniendo la matriz de desvíos $\tilde{\mathbf{X}}_{[10 \times 326]}$. Con esta matriz de entrada se efectuaron los cálculos para la obtención de las CPs de acuerdo a las ecuaciones matriciales:

$$\mathbf{Z} = \tilde{\mathbf{X}}_s \mathbf{Q} \quad [1]$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{QD}^{1/2} \quad [2]$$

donde $\mathbf{Z}_{[10 \times 326]}$ es la matriz de Componentes de Puntaje, $\tilde{\mathbf{X}}_s$ es la matriz que resulta de estandarizar las columnas de $\tilde{\mathbf{X}}$, $\mathbf{Q}_{[326 \times 326]}$ y $\mathbf{D}_{[326 \times 326]}$ son respectivamente las matrices de autovectores y autovalores de la matriz de correlaciones asociada a las columnas de $\tilde{\mathbf{X}}$, y $\mathbf{F}_{[326 \times 326]}$ es la matriz de Componentes de Carga (i.e. la matriz que contiene las correlaciones entre cada sondeo anómalo de entrada –columnas de $\tilde{\mathbf{X}}$ – y cada Componente de Puntaje –columnas de \mathbf{Z} –).

En estas condiciones resulta $\tilde{\mathbf{X}}_s = \mathbf{Z}_s \mathbf{F}'$ (donde la prima significa “transpuesta”) y, por lo tanto, cada sondeo anómalo estandarizado $\tilde{\mathbf{x}}_s$ puede escribirse como combinación lineal de las Componentes de Puntaje estandarizadas \mathbf{z}_s en la forma:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{s,j} = f_{j1} \mathbf{z}_{s1} + f_{j2} \mathbf{z}_{s2} + \dots + f_{j10} \mathbf{z}_{s10} \quad [3]$$

teniendo en cuenta, además, que el rango de $\tilde{\mathbf{X}}$ no puede ser mayor a 10. Mayor información sobre

esta metodología y sus propiedades puede consultarse en Lattin et al. (2003).

La ecuación [3] permite identificar cada sondeo con un número no mayor a 10 factores de carga f_{ji} que constituyen el peso de cada Componente para representar el sondeo en cuestión. En vista de esta propiedad, para identificar los patrones principales capaces de discriminar entre sondeos “convectivos” (C) y “no convectivos” (NC), se procedió a identificar los días en los cuales se registraron o no eventos asociados a la convección, generando un vector $\mathbf{C}_{[286 \times 1]}$ con valores: “1” para el caso C y “-1” para el caso NC. Los patrones principales \mathbf{z}_j asociados a C o NC se identificaron correlacionando las Componentes de Carga \mathbf{f}_j con el vector \mathbf{C} . Se definió como “Ocurrencia de Convección” cuando en la observación meteorológica se reporta la presencia de nubes bajas de los grupos 3 y/o 9, y de acuerdo con el código de clasificación de nubes de la Organización Meteorológica Mundial, en el período de 24 horas comprendido entre las 12 UTC del día y las 12 UTC del día siguiente.

Con el propósito de elaborar futuros pronósticos de C/NC a partir de los datos de sondeo de T y Td, se procedió luego la elaboración de un modelo de regresión múltiple entre los vectores \mathbf{C} y \mathbf{f}_j de la forma:

$$\hat{\mathbf{C}} = b_1 \mathbf{f}_1 + b_2 \mathbf{f}_2 + \dots + b_n \mathbf{f}_n \quad [4]$$

donde $\hat{\mathbf{C}}$ es un vector que contiene estimadores del índice de convección (i.e 1) y no convección (i.e -1) y n es el número de componentes significativas retenidas.

Luego, dado que $\mathbf{F} = \frac{\tilde{\mathbf{X}}_s' \mathbf{Z}_s}{m-1}$, donde m es el número de filas de \mathbf{X} (i.e. $m=10$), entonces resulta:

$$\hat{\mathbf{C}} = \tilde{\mathbf{X}}_s' \frac{\mathbf{Z}_s^* \mathbf{B}}{m-1} \quad [5]$$

donde \mathbf{Z}_s^* es la matriz que contiene sólo las componentes de puntaje estandarizadas que discriminan entre casos C y NC de acuerdo a la ecuación de regresión [4].

La matriz $\mathbf{A} = \frac{\mathbf{Z}_s^* \mathbf{B}}{m-1}$ es un vector columna

que sólo depende de los resultados del ACP y del análisis de regresión [4]. Debido a esto, dado un sondeo futuro cualquiera $\tilde{\mathbf{x}}_s$, el coeficiente de C (1) o NC (-1) puede estimarse mediante el producto escalar:

$$\hat{c} = \tilde{\mathbf{x}}_s \cdot \mathbf{A} \quad [6]$$

lo cual serviría para futuros pronósticos.

Finalmente, todo el estudio se repitió aplicando rotación VARIMAX a las componentes significativas del análisis no rotado.

3. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra la distribución de varianzas explicadas para las componentes rotadas y no rotadas. A pesar de tener una cantidad total de 10 observaciones por sondeo (i.e. 5 niveles para T y 5 para Td), las varianzas acumuladas del ACP revelan que cada sondeo de entrada puede escribirse como combinación lineal de sólo 9 patrones principales, lo cual implica que el rango

Nº CP	Componentes No Rotadas			Componentes Rotadas		
	Varianza	Varianza Explicada [%]	Varianza Explicada Acumulada [%]	Varianza	Varianza Explicada [%]	Varianza Explicada Acumulada [%]
1	96.41	29.57	29.57	74.45	22.84	22.84
2	65.11	19.97	49.55	53.85	16.52	39.36
3	51.29	15.73	65.28	49.02	15.04	54.39
4	35.18	10.79	76.07	48.81	14.97	69.37
5	28.12	8.63	84.70	39.58	12.14	81.51
6	23.63	7.25	91.95	34.03	10.44	91.95
7	13.28	4.07	96.02			
8	7.38	2.26	98.28			
9	5.59	1.72	100.00			

Tabla 1: Varianzas correspondientes a las primeras 6 CPs, explicadas porcentuales y acumuladas.

de la matriz de entrada es igual a 9. Por otra parte, la Figura 1 muestra el logaritmo de los autovalores en función del número de Componente Principal (CP) (diagrama de LEV). La diferencia de logaritmos más notoria se observa entre las componentes 6 y 7, por lo cual tomamos como significativas las primeras 6 CPs, las cuales acumulan el 92% de la varianza (ver Tabla 1). La aplicación de rotación VARIMAX a las primeras 6 CPs no modifica su varianza acumulada, aunque

las varianzas por componente se distribuyen de forma más homogénea.

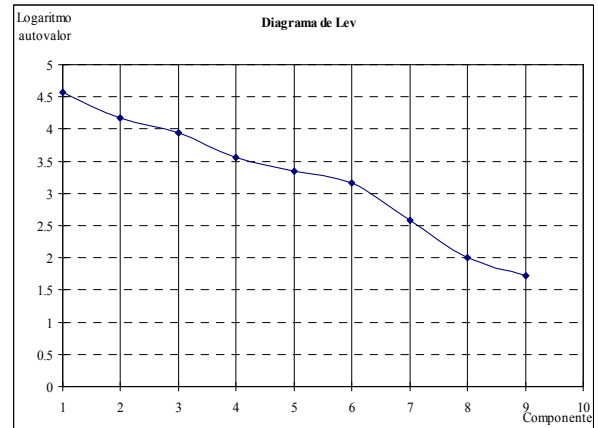


Figura 1: Diagrama de LEV para las CPs no rotadas.

Cada CP \mathbf{z} puede interpretarse en su sentido directo [$\mathbf{z}(+)$] o inverso [$\mathbf{z}(-)$] de acuerdo lleven respectivamente Componentes de Carga f asociadas positivas o negativas en la ecuación [3]. La Figura 2 muestra las CPs en sus modos directo e inverso (paneles de la izquierda), acompañadas del sondeo del caso correspondiente al mayor factor de carga asociado (paneles de la derecha). Debido a que resulta dificultoso interpretar las desviaciones de los sondeos respecto del sondeo medio, en la Figura 2 se sumó el sondeo medio a las CPs no estandarizadas para facilitar su interpretación. Consecuentemente, y debido a que las CPs se calcularon en base a desvíos estandarizados de los sondeos originales, para los cuales las desviaciones de Td pueden superar en algún nivel a las de T; en algunos patrones y para algunos niveles, los valores representados de Td pueden superar a los de T indicando un estado de saturación o próximo a la saturación.

La CP 1 en su modo directo (inverso) muestra un sondeo mayormente húmedo (seco) en todos los niveles, sobre todo en niveles superiores; mientras la CP 2 en modo directo (inverso) representa un sondeo seco (húmedo o saturado) en niveles bajos, con un gradiente vertical de T menos (más) acentuado en niveles inferiores y una capa relativamente húmeda (seca) en niveles superiores. Por su parte, la CP 3 en modo directo (inverso) exhibe una capa saturada (seca) en 700 hPa y seca (húmeda) en 500 hPa con un marcado (débil) gradiente de Td y débil (marcado) gradiente de T entre estos dos niveles; al tiempo

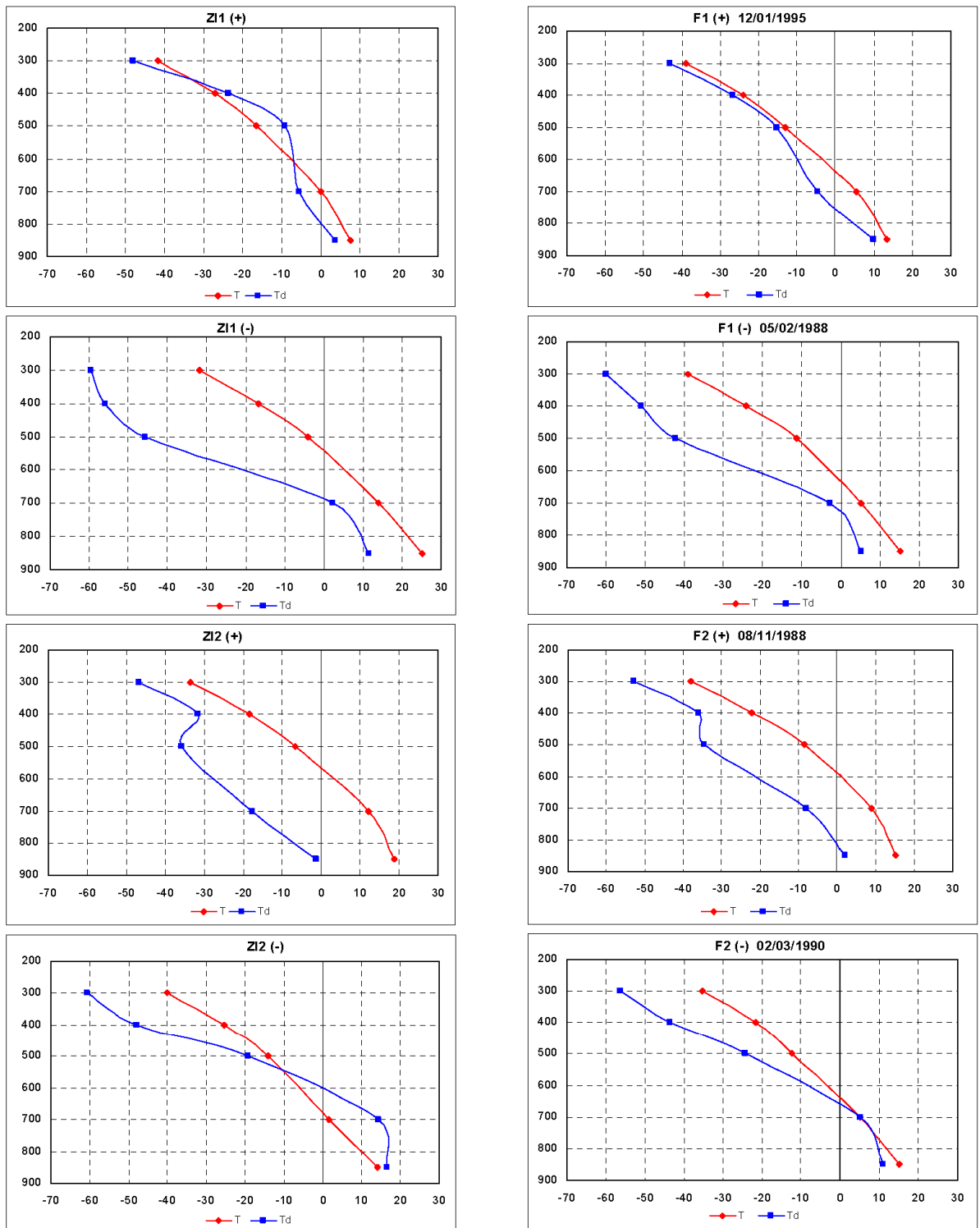


Figura 2: Izquierda: Componentes Principales 1 (paneles superiores) y 2 (paneles inferiores) en modo directo (+) e inverso (-). Derecha: Sondeos correspondientes al mayor factor de carga F para los casos respectivos del panel izquierdo (las fechas correspondientes se detallan en cada cuadro).

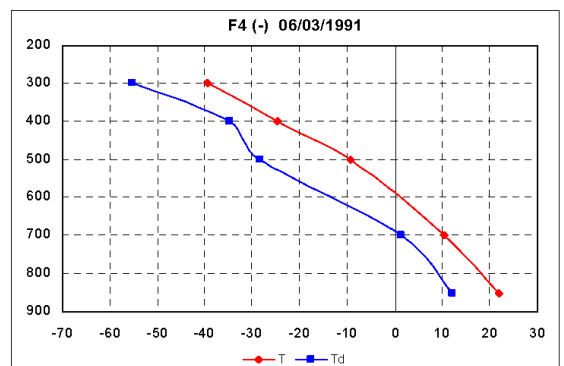
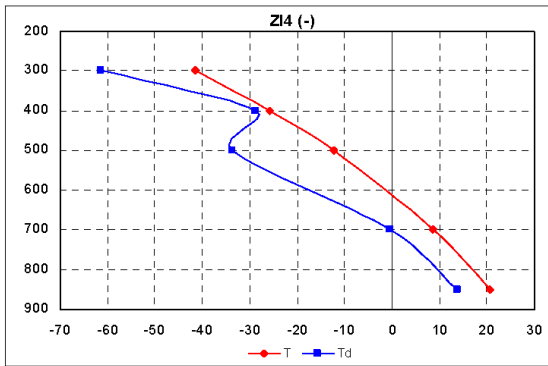
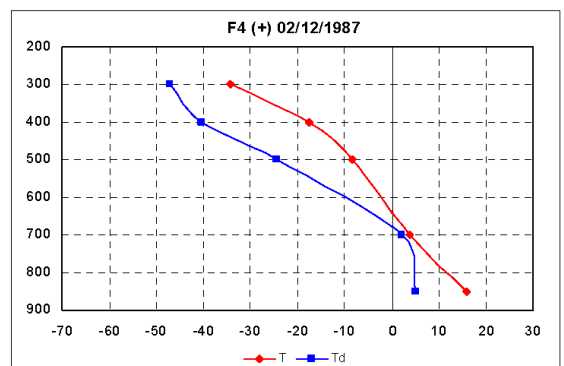
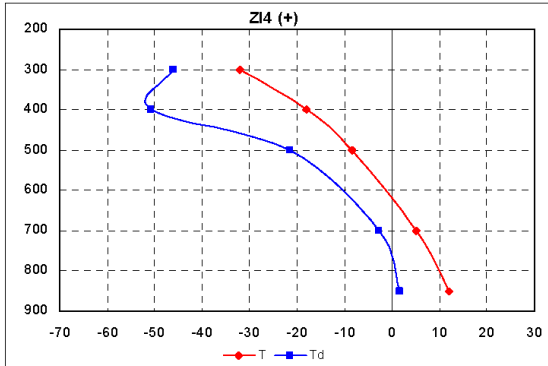
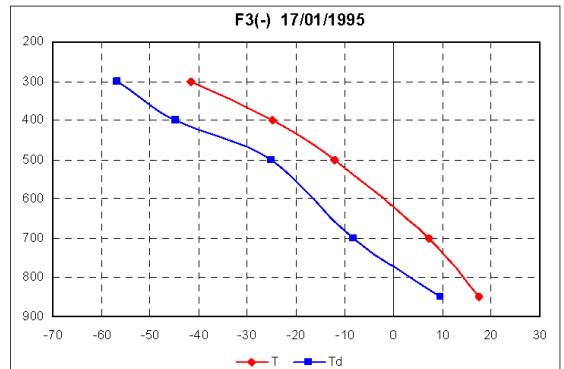
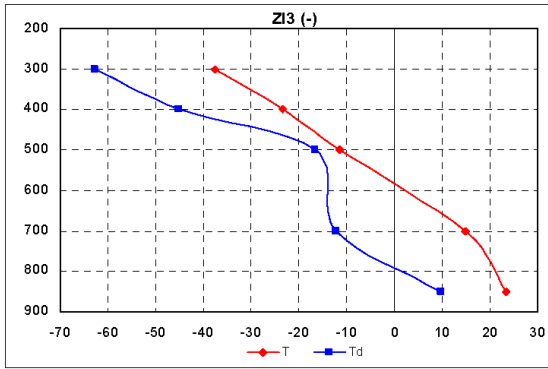
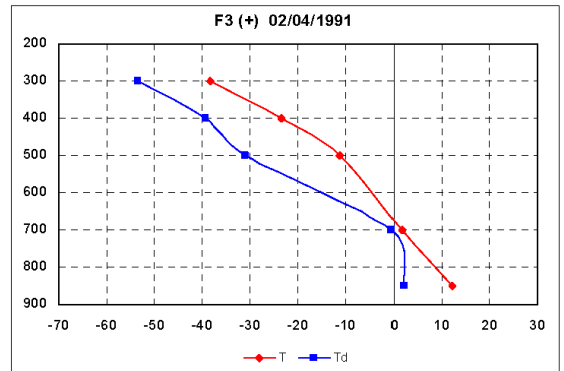
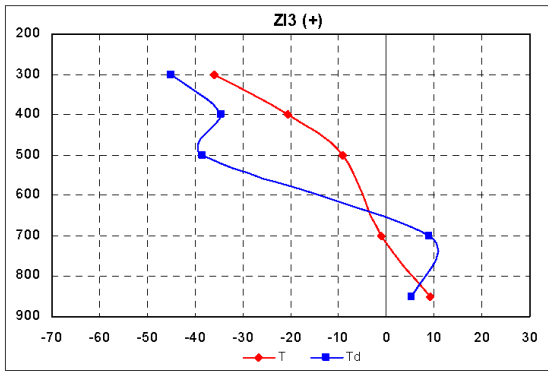


Figura 2: (continuación) CPs 3 y 4.

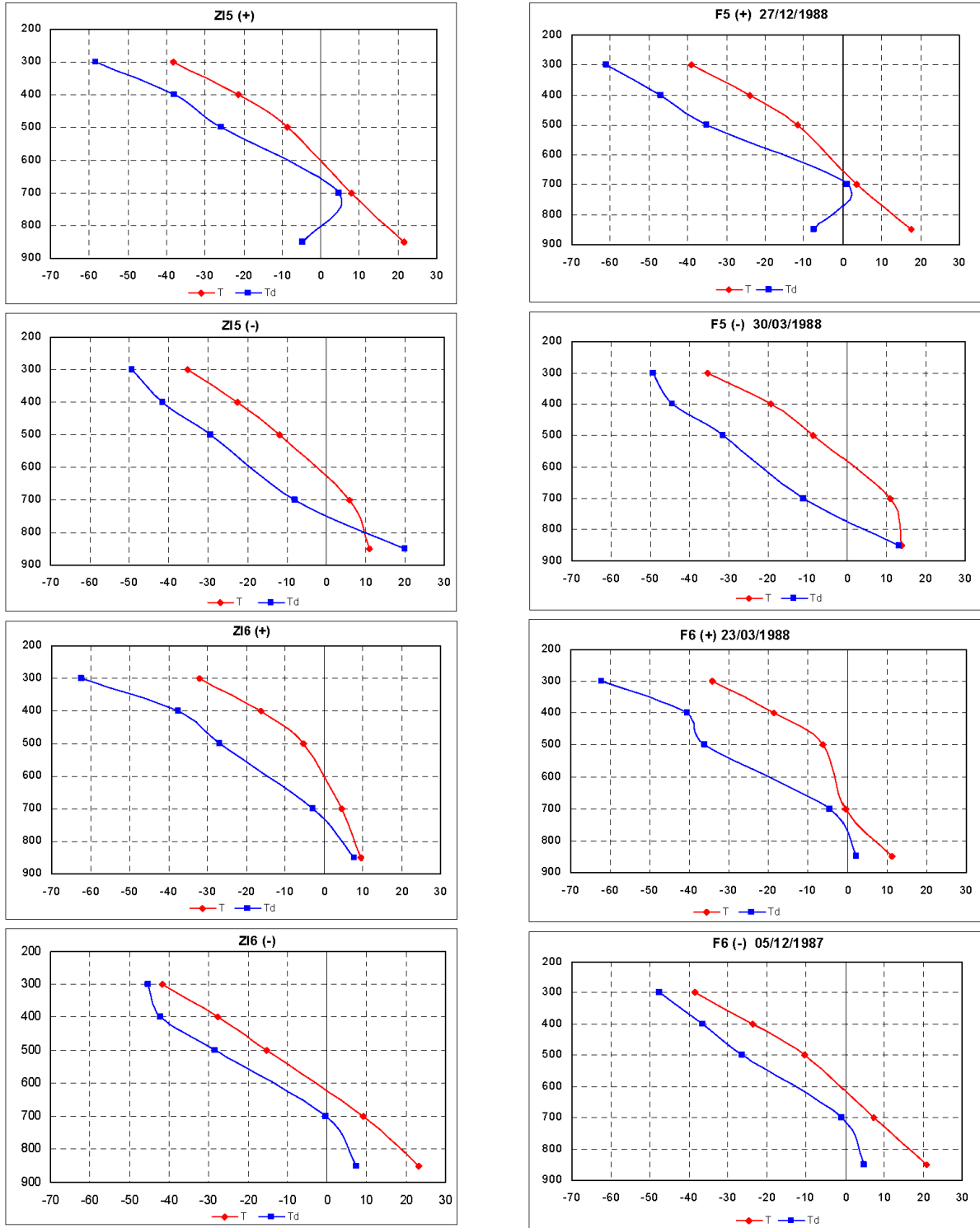


Figura 2: (continuación) CPs 5 y 6.

que la CP 4 en modo directo (inverso) muestra una capa seca (húmeda) en 400 hPa. La CP 5 en su modo directo (inverso) presenta una capa muy

seca (saturada) en 850 hPa y posterior humedecimiento (secamiento) en 700 hPa — inversión (marcado gradiente) de Td en niveles

inferiores—; mientras la CP 6 en modo directo (inverso) representa un sondeo húmedo (seco) en niveles bajos, que se seca (humedece) gradualmente con la altura. Los sondeos de las situaciones reales observadas, mostrados como ejemplos en los paneles respectivos de la derecha, exhiben iguales características.

N = 286	Análisis de regresión múltiple C vs. F			
	CP No Rotadas		CP Rotadas	
	R	b	R	b
CP 1	-0.0303	-0.0866	-0.1656	-0.1415
CP 2	-0.3056	-0.7464	-0.1845	-0.0784
CP 3	-0.2319	-0.5246	-0.2173	-1.1106
CP 4	-0.2678	-0.8540	0.1555	0.0478
CP 5	-0.0074	-0.0942	-0.0090	-0.1061
CP 6	-0.3509	-1.3107	-0.3632	-1.6693
	R = 0.5922 Var = 35.07% Ecm = 0.82		R = 0.5922 Var = 35.07% Ecm = 0.82	

Tabla 2: Coeficientes de correlación R entre el índice de C-NC y las Componentes de Carga F para las primeras 6 componentes con y sin rotación, junto a los coeficientes de ajuste b de

Los coeficientes de correlación R entre el índice de C-NC C y las Componentes de Carga F para las CPs retenidas, se muestran en la Tabla 2. Las correlaciones significativas se encuentran marcadas en negrita. De acuerdo a los valores mostrados, las componentes 2, 3, 4 y 6 se encuentran significativamente correlacionadas con el índice convectivo C en sentido inverso (coeficientes de correlación negativos), indicando que los patrones descritos en modo inverso para estas componentes estarían asociados mayormente a eventos de convección, mientras los patrones en modo directo a ausencia de convección. Consecuentemente, la actividad convectiva se vería favorecida en sondeos que muestran una capa saturada o húmeda en los niveles de 700, 500 o 400 hPa y un gradiente vertical de T bien marcado en niveles altos (ver patrones 2, 3 y 4 en modo inverso), o un sondeo relativamente húmedo con un gradiente vertical de T intenso en todos los niveles (ver patrón 6 inverso). Por el contrario, la convección se inhibiría en situaciones de sondeos con características inversas a las anteriores (capas secas en niveles superiores, con gradientes verticales de T muy débiles). Las CPs 1 y 5 no discriminan entre eventos C y NC (ver en la Tabla 2, los coeficientes de correlación C vs. F no significativos para estas componentes). A modo de ejemplo, hemos graficado los campos de altura

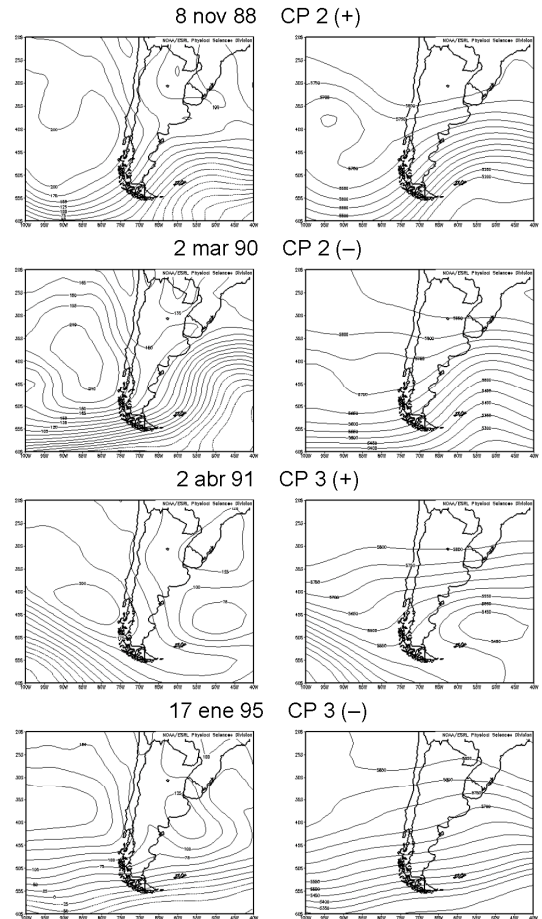


Figura 3: Campos de altura geopotencial de 1000 (izquierda) y 500 (derecha) hPa, correspondientes a las fechas con mayor factor de carga F para cada una de las CPs en los modos que se indican en cada panel.

geopotencial de 850 y 500 hPa correspondientes a los días con mayor factor de carga para cada una de las componentes 2, 3, 4 y 6, los cuales se muestran en la Figura 3 (días correspondientes a los sondeos de los paneles de la derecha en la Figura 2). En los casos C de las componentes 4 y 6 (días 6/3/1991 y 5/12/1987), estos campos muestran situaciones asociadas al pasaje de una banda frontal —con una baja sobre las costas patagónicas y un anticiclón del Pacífico desplazado hacia latitudes medias en superficie, y un eje de vaguada bien definido atravesando el Sur de Chile en altura—; mientras que para los casos NC, exhiben un anticiclón del Pacífico desplazado a latitudes más bajas junto a una baja presión en el Noroeste argentino. Sin embargo, las situaciones

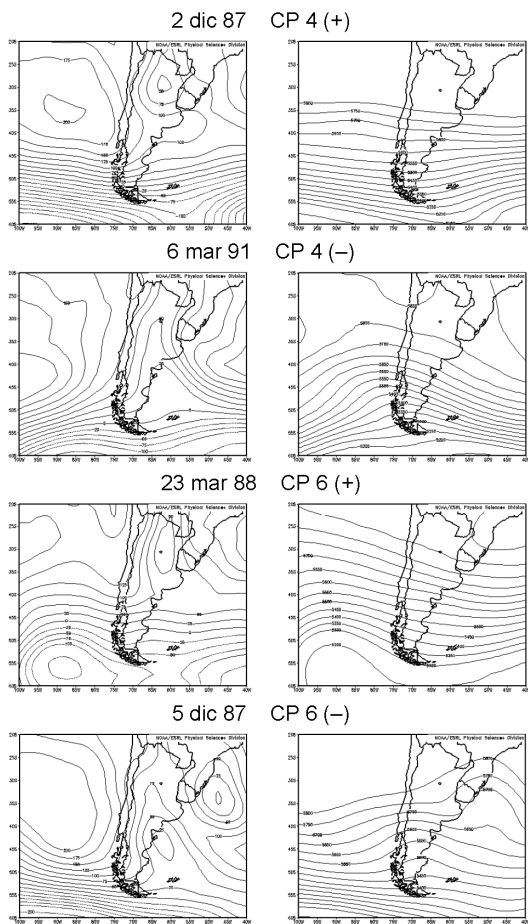


Figura 3: (continuación)

sinópticas seleccionadas para las componentes 2 y 3 no muestran características distintivas entre casos C y NC.

Los coeficientes de ajuste b de la ecuación de regresión múltiple [4] se muestran también en la Tabla 2. La correlación múltiple tomando todas las componentes arroja una correlación de 0.59, con una varianza explicada del 37% y un error cuadrático medio de 0.82. Tomando sólo las componentes significativas, esta correlación no se modifica sensiblemente, bajando sólo a 0.58.

La aplicación de rotación VARIMAX a las componentes, no modifica el valor de la correlación múltiple, la cual se mantiene en 0.59. Sin embargo, el número de componentes que mantienen correlaciones significativas con el índice de C-NC C , se reduce a sólo dos componentes (i.e. las CPs rotadas 3 y 6), cuyos patrones se muestran en la Figura 4. En modo directo (inverso), la CP 3 representa un sondeo

saturado o húmedo (seco) en niveles inferiores, con un débil (fuerte) gradiente de T , y un secamiento (débil humedecimiento) hacia niveles más altos; mientras que la CP 6 presenta un sondeo seco (húmedo o saturado) en todos los niveles, con un débil (fuerte) gradiente de T sobre todo en niveles bajos. De acuerdo al signo de los valores de correlación indicados en la Tabla 2, ambas CPs se encuentran inversamente correlacionadas con el índice de C-NC, por lo cual, los patrones $Z3(-)$ y $Z6(-)$ corresponderían a eventos convectivos, mientras los $Z3(+)$ y $Z6(+)$ a eventos no convectivos. Las restantes componentes rotadas no discriminan entre casos C o NC.

4. CONCLUSIONES

El análisis arrojó 6 componentes significativas que explican más del 92% de la varianza del sistema. Así se obtuvieron 12 patrones característicos bien diferenciados, dado que los modelos resultantes representan condiciones atmosféricas distintas en sus modos directo e inverso; los cuales pueden relacionarse claramente con varios sondeos de entrada, presentando factores de carga superiores a 0.8 en numerosos casos.

Las mayores correlaciones entre casos de convección y no convección con cada una de las componentes de carga se obtuvieron con las componentes 6, 2, 4 y 3. Las componentes 1 y 5 no discriminan entre casos C y NC. El análisis de los patrones revela que la convección se favorece con sondeos húmedos (principalmente con una capa saturada en niveles superiores), mientras se inhibe con capas secas en niveles medios. Los campos sinópticos correspondientes a los días con mayor factor de carga para cada componente, muestran situaciones asociadas a pasajes frontales en el caso C de las componentes 4 y 6; y un anticiclón del Pacífico desplazado a latitudes más bajas junto a una baja presión en el Noreste argentino para los NC. Sin embargo, las situaciones sinópticas seleccionadas para las componentes 2 y 3 no exhiben características distintivas entre casos C y NC.

A partir de los patrones definidos se logró construir un modelo de correlación múltiple, el cual arrojó una correlación de 0.59 tomando todas las componentes, con una varianza explicada del

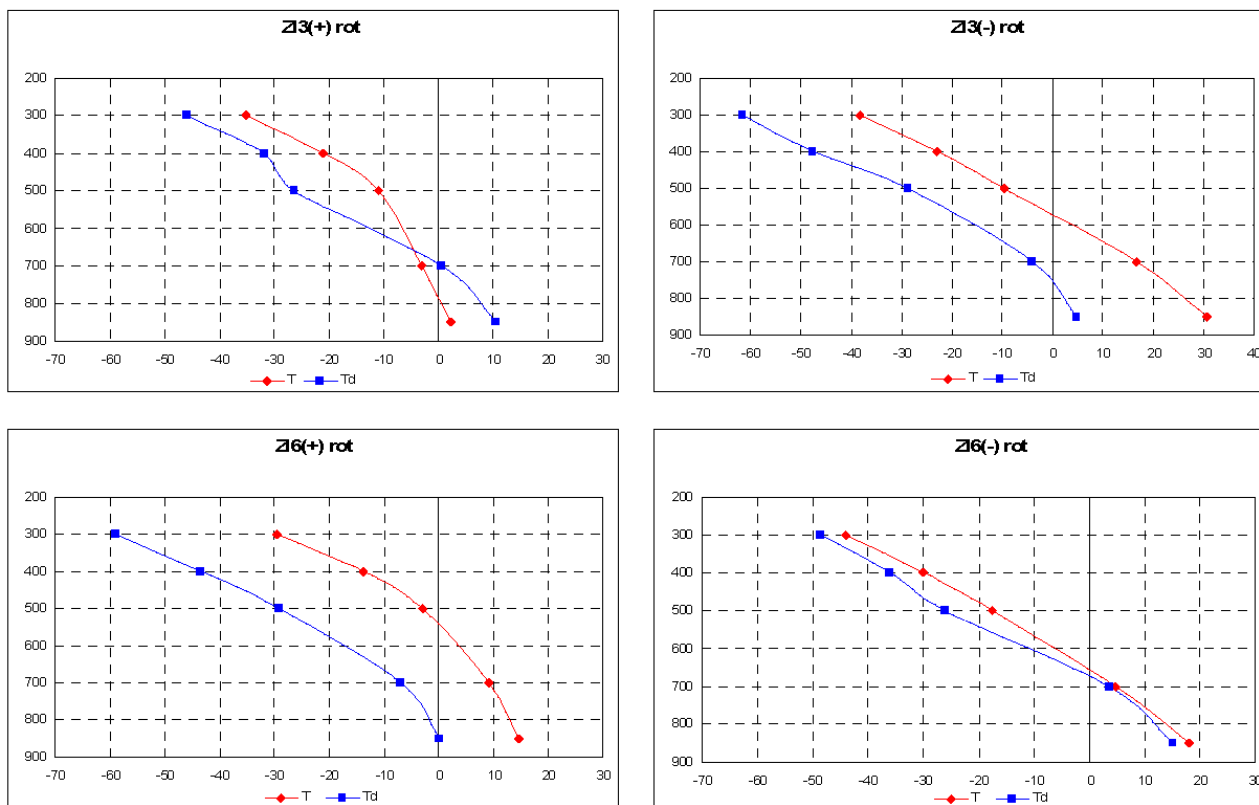


Figura 4: Componentes rotadas 3 (arriba) y 6 (abajo) en modo directo (izquierda) y inverso (derecha).

37% y un error cuadrático medio de 0.82. Tomando sólo las componentes significativas, esta correlación no se modificó sensiblemente, bajando sólo a 0.58.

La aplicación de rotación VARIMAX a las componentes, no modificó el valor de la correlación múltiple, aunque el número de componentes que mantienen correlaciones significativas con el índice de C-NC, se redujo a sólo dos componentes.

AGRADECIMIENTOS: A los fondos provenientes de los proyectos de investigación PICT 2007-438 y PFIP 2008-056. Al Servicio Meteorológico Nacional por facilitar los datos.

REFERENCIAS

Ghidella de Hurtis, M. y Saluzzi M. E., 1980. Estudio de un Modelo Parametrizado de Nube Convectiva a Través de su Aplicación a Casos Reales de Convección Severa Comisión Nacional

de Investigaciones Espaciales. Programa Nacional de Lucha Antigranizo.

Grandoso H. N. y Iribarne J., 1963. Experiencia de Modificación Artificial de Granizadas en Mendoza. Temporadas 1959-60, 1960-61 y 1961-62. Fascículo 3, Informes.

Grandoso H. N. y Iribarne J., 1965. Experiencia de Modificación Artificial de Granizadas en Mendoza. Temporadas 1962-63, 1963-64 e Informe Final. Cinco Temporadas. Serie Meteorología, Volumen 1, Número 5.

Kalnay, E. y coautores, 1996. The NCEP / NCAR 40-year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-441.

Lattin, J., Carroll, J. D. & Green, P. E., 2003. Analyzing Multivariate Data. Duxbury Applied Series, Thompson Brooks/Cole. 556 pp.

Nicolini, M., 1980. Aplicación y Comparación de Distintos Métodos para Estimar la Velocidad de Desplazamiento de Tormentas Convectivas en Mendoza. Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.

PNLAG, 1978/82. Programa Nacional de Lucha Antigranizo. Informe Primeras Experiencias de Ajuste de Defensa. Temporada granicera 1978-1979. Tomo 2. Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. Programa Nacional de Lucha Antigranizo.

Saluzzi M. E., 1983. Aspectos físicos de la convección severa en Mendoza. Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires. 115 pp.

Simonelli S., 2000. Modelo estadístico de pronóstico de convección para la zona norte de la provincia de Mendoza. Tesis doctoral. UBA. 158 pp.