

# OBTENCIÓN DE UN ÍNDICE DE PROBABILIDAD DE VIENTO ZONDA EN MENDOZA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Federico Otero<sup>1</sup>, Federico Norte<sup>1</sup> y Diego Araneo<sup>1</sup>

[fotero@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:fotero@mendoza-conicet.gob.ar)

<sup>1</sup>IANIGLA-CCT- CONICET-Mendoza

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es obtener un índice de probabilidad de ocurrencia de viento zonda en superficie, utilizando el análisis de componentes principales (ACP) evaluando su capacidad para identificar los patrones asociados. Se construyó una matriz de anomalías de temperatura (T) y temperatura de punto de rocío (Td) de los niveles estándar entre 850 y 300 hPa. El análisis arrojó 6 componentes significativas que explican más del 94% de varianza. Así se obtuvieron las condiciones atmosféricas favorables para el desarrollo del fenómeno.

El indicador de zonda/no-zonda puede estimarse por regresión múltiple logística dependiente de las componentes de carga. Dicho índice de probabilidad es calculable a partir de los perfiles anómalos de T y Td y dependiente de las características climatológicas de la región. Las mayores correlaciones entre las CP y los valores del índice de zonda y no-zonda, se obtuvieron para las componentes 2, 4 y 5. El índice mostró una efectividad del 74.7%.

## ABSTRACT

The aim of this work is to obtain a probability index of surface zonda wind occurrence, using the principal component analysis (PCA) evaluating their ability to identify the zonda wind associated patterns. Building an entry matrix with the temperature and dew point temperature anomalies for the standard levels between 850 and 300 hPa. The analysis yielded six significant components, explained 94% of the variance. Thus representing patterns of favorable weather conditions for the development of the phenomenon were obtained.

The zonda/no-zonda indicator can be estimated by a logistic multiple regressions dependent to the component loadings, calculable from the T and Td profiles and it depends on the climatological features of the region. The highest correlations between the CP and the index values and non-zonda zonda were obtained for components 2, 4 and 5. The index showed an efficiency of 74.7%.

**Palabras clave:** *radiosondeos, viento zonda, índice de probabilidad*

## 1) INTRODUCCIÓN

La Provincia de Mendoza se encuentra en el centro-oeste de la República Argentina, situada al pie de la Cordillera de los Andes, extendiéndose de 32° a 37° 35' S, y de 66° 30' a 70° 35' O. Su superficie es de 148.827 km<sup>2</sup> y cuenta con una población estimada de 1.700.000 habitantes. En ella se distinguen tres regiones morfológicas naturales bien contrastadas: las montañas andinas al oeste, con las cimas más elevadas del continente Americano; las planicies, en el centro y el este, conformadas por los pedemontes y llanuras; y las

mesetas y volcanes de la Payunia, en el sur o Patagonia extra-andina (Informe Ambiental, 2009; de aquí en más IA). La circulación local en la zona norte, por su ubicación a sotavento de la Cordillera de los Andes, está condicionada tanto por el forzante mecánico representado por la orografía como por el calentamiento diferencial que genera brisas valle-montaña. Entre los fenómenos severos que se pueden observar, el zonda es uno de ellos. Es un viento fuerte, cálido, y muy seco asociado a una masa de aire que, al descender por las laderas orientales de la Cordillera de los Andes, se comprime adiabáticamente. Este evento ocurre con mayor frecuencia en las temporadas de invierno y primavera, principalmente en las provincias de Mendoza y San Juan (Norte, 1988).

Actualmente se utilizan criterios de clasificación automatizada para determinar dicho fenómeno. El primer enfoque para automatizar el diagnóstico objetivo de viento foehn, fue hecho por Gutermann (1970). Mediante un análisis discriminante de Fisher para cada mes, obtuvo las variables más adecuadas para dicha clasificación. Estas variables eran una combinación de la dirección y velocidad del viento y, de las anomalías de temperatura y humedad relativa. Los posibles métodos de clasificación objetiva (MCO) de eventos de viento zonda (foehn) ayudan a entender cuáles son las variables más relevantes, proporcionando una base física, para definir la ocurrencia de viento zonda en esta región. Otero y Norte (2014) evaluaron la capacidad de distintos métodos de clasificación objetiva de viento zonda. Entre otros métodos de clasificación se encuentran los de Drechsel y Mayr (2008) y Plavcan et. al (2014).

El sentimiento de incomodidad e irritabilidad que el Zonda produce sobre la población, y los daños que éste puede generar, obliga a contar con pronósticos confiables y precisos. Sin embargo la corta extensión espacial y temporal de este fenómeno, su aparición repentina y la escasez de estaciones meteorológicas generan una gran dificultad para su predicción. En tal sentido Norte (1988) desarrolló un método estadístico de predicción utilizando el Análisis Discriminante Escalonado a partir de datos de superficie a ambos lados de los Andes, que ha brindado resultados satisfactorios hasta el momento. Este método fue posteriormente extendido por Norte y Seluchi (1993), quienes utilizaron información del perfil termodinámico a ambos lados de los Andes. Norte y Silva (1995) mostraron algunas diferencias sinópticas y dinámicas de los eventos moderados y severos, y desarrollaron un programa predictor con base estadística, que establece la probabilidad de ocurrencia para distintas categorías de intensidad. Más recientemente Norte (1999) desarrolló con eficacia un sistema experto híbrido para predecir la ocurrencia del viento Zonda y su posible condición de moderado o severo.

El mejoramiento de las técnicas de pronóstico de viento zonda, con predicciones espacial y temporalmente más precisas, ayudaría a desarrollar sistemas de alerta de eventos severos, que permitan tomar medidas tendientes a mitigar eventuales daños socioeconómicos. La elaboración operativa de pronósticos de viento zonda requiere de los análisis sinópticos de superficie y altura (complementados con modelos termodinámicos regionales), y principalmente del análisis termodinámico de la estructura vertical de la atmósfera (es decir, a partir de datos de radiosondeo).

Las características espacio-temporales de los perfiles de temperatura y humedad en la troposfera y baja estratosfera fueron analizadas mediante el estudio de Funciones Ortogonales Empíricas (EOF), primeramente por Smith y Woolf (1976), recientemente por Wang y otros (2001) y Deming y otros (2008); y en Argentina por Duarte (1993). Mediante estas técnicas los autores pudieron identificar los principales patrones temporales de temperatura en cada nivel de la atmósfera, caracterizando perfiles verticales con variabilidad temporal homogénea. La aplicación de técnicas estadísticas como el estudio de EOF o el análisis de componentes principales (ACP) permiten en general la caracterización estadística objetiva de variables vectoriales, tales como los perfiles verticales de temperatura de los ejemplos citados o cualquier otra variable física.

El objetivo principal del presente trabajo es analizar la aplicabilidad del ACP para la caracterización objetiva de los perfiles de temperatura y temperatura de punto de rocío obtenidos de sondeos diarios en la región, a fin de construir, a partir de los patrones producidos, un índice de probabilidad que sirva como herramienta en la elaboración de los pronósticos de ocurrencia de viento zonda.

## **2) DATOS Y METODOLOGÍAS**

### **Datos**

Se utilizaron los datos de radiosondeos de las 12 UTC, correspondientes al período 1981-2014 de la Estación Meteorológica Mendoza Aero (32°50'S; 68°50'O), perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Además, se utilizan los datos horarios de dicha estación, para el mismo período.

## Metodologías

Para el cálculo y clasificación de eventos de viento zonda en superficie se utilizó el método objetivo de clasificación según las anomalías estacionales de temperatura y temperatura de rocío (Otero y Norte, 2014). A modo de ejemplo se muestra en la ec. (1) el cálculo de anomalías diarias estacionales de temperatura y temperatura de rocío para primavera.

$$\bar{x}_{SON}(i) = \frac{1}{91 \cdot 24} \sum_{k=1}^{24} \sum_{l=1}^{91} x(i, l, k) \rightarrow x'_{SON}(i, l, k) = x(i, l, k) - \bar{x}_{SON}(i) \quad \text{para } i = 0..23, \quad l = 1 \dots 91 \quad (1)$$

Donde  $l$  corresponde a los días de septiembre, octubre y noviembre.  $x(i, l, k)$  es el dato de la hora  $i$ ,  $l$  es el día (que se encuentra dentro de los meses de SON) y año  $k$ . Asimismo para las restantes estaciones del año.

La Clasificación por Anomalías Diarias Estacionales de temperatura y temperatura de rocío (CADE) consiste en aquellos valores tales que:

- La dirección del viento estuviese dentro del intervalo  $(200^\circ; 20^\circ]$ .
- La velocidad del viento fuera mayor al percentil 75 de la distribución de velocidades, sólo de aquellas direcciones antes descriptas.
- La temperatura del punto de rocío menor al percentil 25 de la distribución para las mismas direcciones.
- Anomalías estacionales de temperatura mayor al percentil 75 de su distribución y anomalías estacionales de temperatura de rocío menor al percentil 25 de su distribución.
- Diferencia entre la anomalía estacional de temperatura y la anomalía estacional de temperatura de rocío mayor al percentil 75 de dicha distribución.

Finalmente, para el cálculo de las componentes principales (CP), se tomó la metodología del trabajo de Araneo et al. (2011), construyendo una matriz de entrada con las anomalías de temperatura (T) y temperatura de punto de rocío (Td) de los niveles estándar de 850, 700, 500, 400 y 300 hPa. Estas anomalías se obtuvieron restándole a cada sondeo el sondeo medio construido con todos los radiosondeos disponibles en el período 1981-2014.

## 3) RESULTADOS

### Sondeo Medio

En la distribución mensual de datos correspondientes a los radiosondeos de las 12 UTC (figura 1 izq.), se puede notar una gran cantidad de radiosondeos faltantes. En todos los casos la cantidad de datos es menor al 70% del total, en particular durante la época fría, donde la cantidad de datos es menor al 45%. Esto puede producir un sesgo en el sondeo medio de Mendoza. El sondeo medio de Mendoza de las 12 UTC (figura 1, der.) muestra un perfil estáticamente estable en toda la vertical. Este se aproxima en buen grado a un gradiente adiabático saturado entre 700 y 400 hPa y es más estable entre 925 y 700 hPa. La presencia de la tropopausa se divide entre los 250 y 200 hPa. En casi todos los niveles se observa una depresión del punto de rocío (T-Td) de aproximadamente 10 °C.

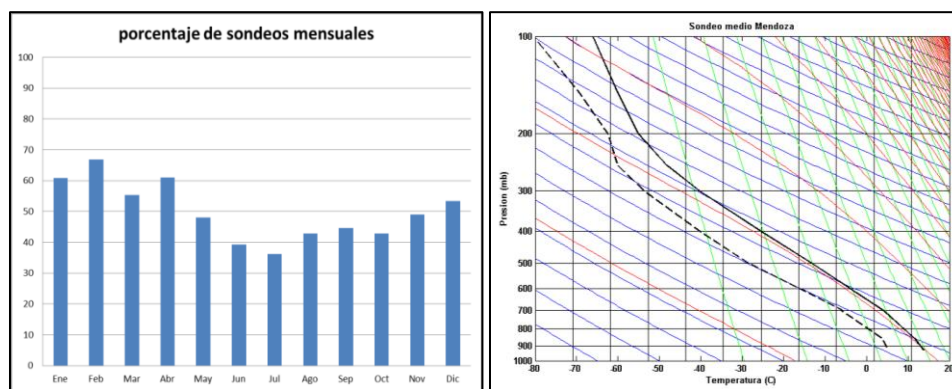


Figura 1. Izq.: Distribución porcentual mensual de datos de radiosondeos. Der.: perfil vertical medio de Mendoza Aero.

### Clasificación de viento zonda y perfiles verticales

Siguiendo el trabajo de Otero y Norte (2014), se buscaron las fechas asociadas a eventos de viento zonda en superficie para la estación de Mendoza Aero. Con este método se encontraron 295 eventos, de los cuales tan solo 154 tienen radiosondeo en las 24 horas previas al evento. A pesar de la existencia de sondeos faltantes, la distribución relativa de eventos de zonda (figura 2) se mantiene, quizás con un leve déficit en el mes de junio, septiembre y diciembre y con mayor cantidad relativa de sondeos en los meses de octubre y noviembre. El 87,5% de los eventos de zonda ocurren entre mayo y noviembre y representan el 90,9% de eventos con sondeos.

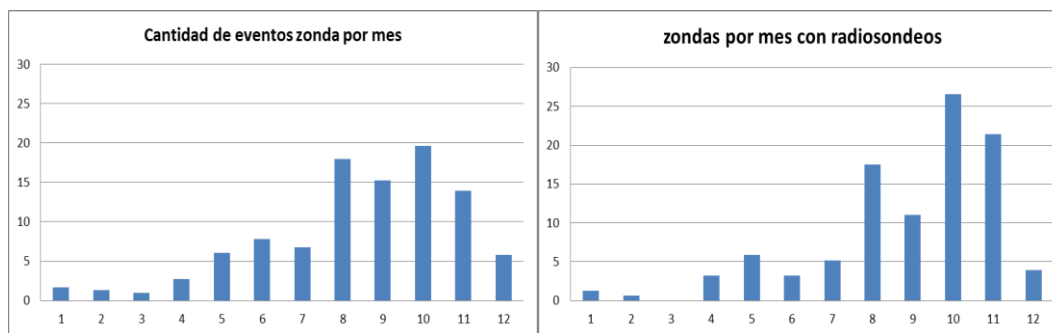


Figura 2. Distribución mensual de eventos de zonda (Izq., 295 eventos) y distribución mensual de eventos de zonda con radiosondeos (Der., 154 eventos).

El sondeo medio de los eventos de zonda (figura 3, panel izq.) muestra una inversión térmica entre 925 y 850 hPa y una depresión del punto de rocío de aproximadamente 15 °C en niveles cercanos a superficie que aumenta a más de 20°C en niveles medios de la atmósfera. Las anomalías del perfil vertical asociado a eventos de viento zonda en superficie (figura 4, panel derecha), reflejan anomalías positivas de T (calentamiento) entre los niveles de 850 y 300 hPa y negativas entre 300 y 100 hPa. Este calentamiento tiene asociado anomalías negativas de temperatura de rocío entre 925 y 400 hPa. Esta configuración podría indicar que el efecto foehn ya ha comenzado en niveles medio pero todavía no ha alcanzado el nivel superficie. También se observa un mínimo relativo de anomalías negativas de T entre 300 y 150 hPa y anomalías positivas en 250 hPa y negativas en 200 hPa de Td, posiblemente esta configuración esté asociada a la presencia del jet en altura.

### Modelo y cálculo del índice

Se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) para caracterizar radiosondeos de Mendoza, evaluando su capacidad para identificar patrones asociados a la ocurrencia de viento zonda en superficie y definiendo un índice de probabilidad de ocurrencia. Del total de eventos de viento zonda, 114 de éstos tienen datos en los niveles de 850, 700, 500, 400, y 300 hPa. Para el cálculo de las CP y del índice, se tomaron 210 sondeos de las 12 UTC construyendo una matriz de anomalías de T y Td de los niveles estándar antes mencionados. De estos

sondeos, 70 corresponden a eventos de viento zonda y el resto son aleatorios (ver metodología en Araneo et. al 2011). Debido a la escasa cantidad de eventos de viento zonda, se realizaron iteraciones intercambiando las fechas para obtener significancia en el cálculo estadístico. De estas iteraciones se tomó el promedio para obtener las CP y la varianza explicada por cada una (tabla 1). Las primeras 6 CP resultaron significativas y explican más del 94% de la varianza total.

Cada sondeo anómalo estandarizado puede escribirse, entonces, como combinación lineal de las componentes de puntaje del ACP estandarizadas. Cada sondeo puede escribirse como una combinación lineal con un número no mayor a 10 factores de carga, los cuales constituyen el peso de cada componente para representar el sondeo en cuestión. Para identificar los patrones principales capaces de discriminar entre sondeos de zonda y no-zonda se procedió a individualizar los días en los cuales se registraron o no eventos de viento zonda, y se construyó un vector con valores “1” para el caso zonda y “0” para el caso no-zonda.

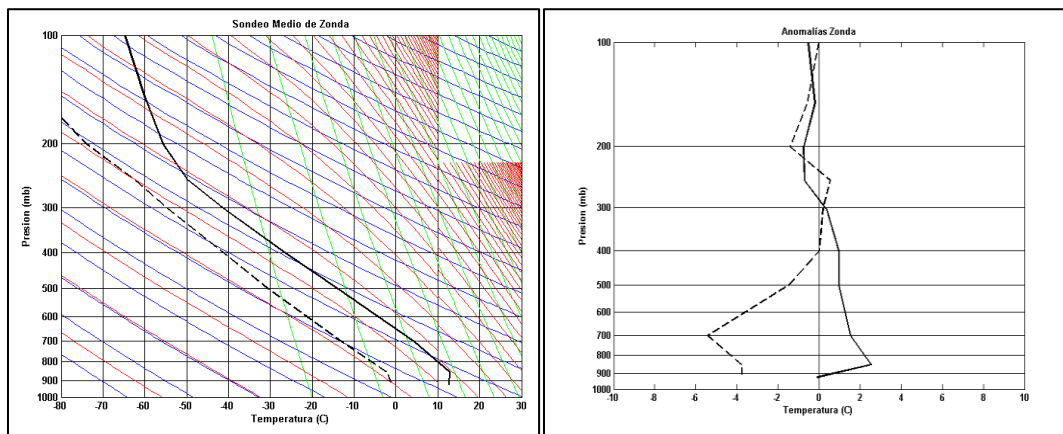


Figura 3. Izq.: perfil vertical medio asociado eventos de viento zonda en la estación de superficie Mendoza Aero y der.: anomalías de temperatura y temperatura de rocío para eventos de viento zonda

Los patrones principales asociados a zonda o no-zonda se identificaron correlacionando las componentes de carga con el vector antes mencionado. Con el propósito de elaborar futuros pronósticos de zonda a partir de los datos de sondeo de T y Td, se procedió a la elaboración de un modelo de regresión múltiple logística entre el vector respuesta y las componentes de carga, de la forma:

$$c = \frac{e^{X_s.A+b_0}}{1+e^{X_s.A+b_0}} \quad (2)$$

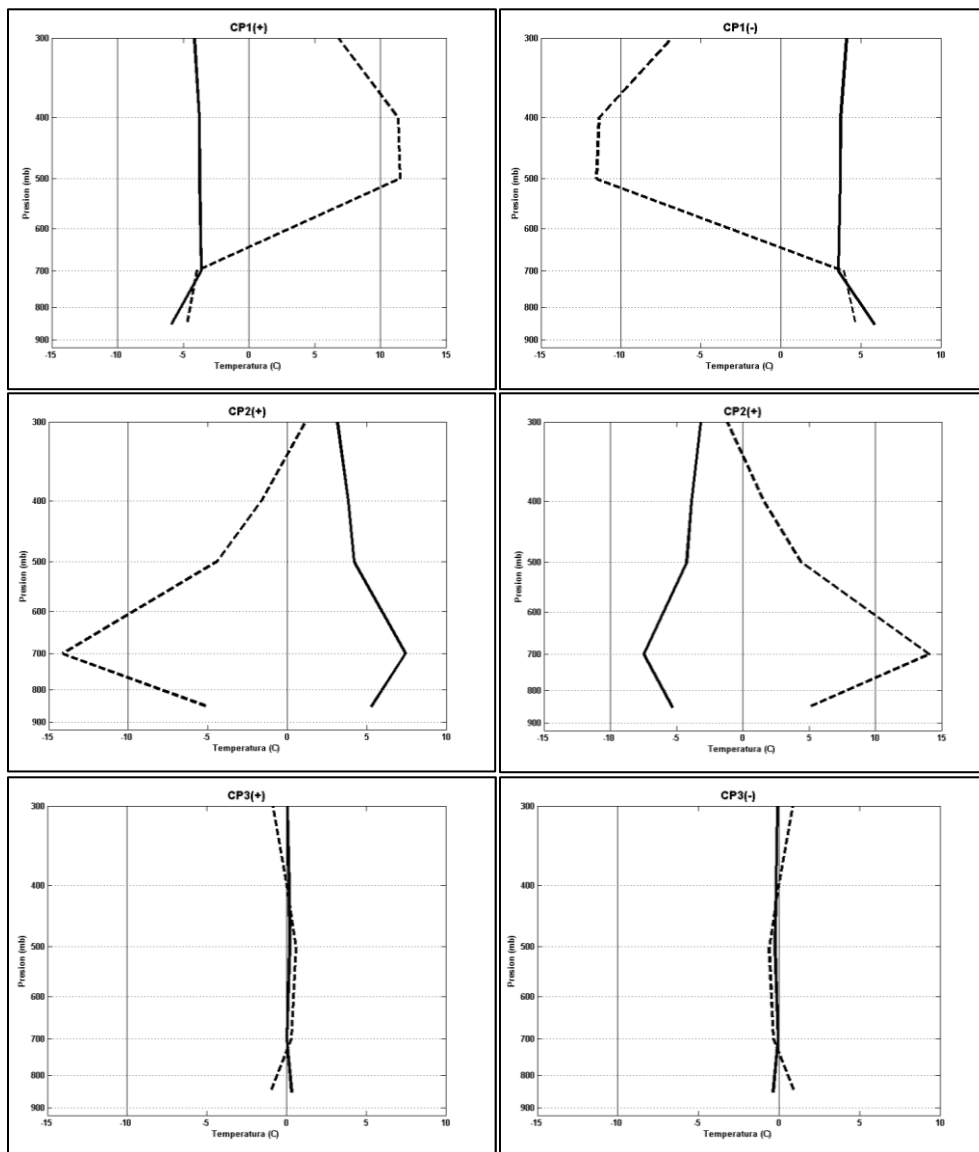
Donde A y  $b_0$  sólo dependen de los resultados del ACP y del análisis de regresión,  $X_s$  es el sondeo anómalo en cuestión. Las CP pueden interpretarse en su sentido directo (+) o inverso (-), de acuerdo lleven respectivamente componentes de carga asociadas positivas o negativas. Consecuentemente, y debido a que las CP 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. En otras palabras, las CP son patrones de sondeos anómalos (desviaciones del perfil vertical medio de T y Td).

En la figura 4 se muestran las CP en sus modos directo e inverso. La CP 1 en su modo inverso (directo) muestra un fuerte secamiento (humedecimiento) entre 500 y 300 hPa acompañado de anomalías positivas (negativas) de T. Entre 850 y 700 se observa un perfil más húmedo y cálido (frío y seco) de lo normal. La CP 2 en su modo directo (inverso) representa un sondeo seco (húmedo) en la capa 850-500 hPa, con un máximo en 700 hPa, posiblemente asociado a subsidencia. También se observa una inversión en el gradiente de anomalías de T y Td entre 850 y 700 hPa. Por su parte, la CP 3 en modo directo (inverso) exhibe débiles anomalías de T y Td, con un entorno más seco (húmedo) en las capas 850-700 hPa y 400-300 hPa y más húmedo (seco) en niveles medios. No existen anomalías significativas de T en todo el perfil. La CP 4 en modo directo (inverso) muestra un entorno seco (húmedo) entre 700 y 500 hPa y más húmedo (seco) en niveles bajo y altos, un débil gradiente de T en

niveles medios con aumento (disminución) de T entre 850 y 700 hPa. La CP 5 en modo inverso (directo) muestra anomalías positivas (negativas) de T entre 850 y 700 hPa que se revierten entre 700 y 300 hPa. Las anomalías de Td son negativas (positivas) en 500 hPa y positivas (negativas) en 700 hPa y en 400 hPa, representando posiblemente un entorno saturado en este nivel. Finalmente, la CP 6 en su modo inverso (directo) presenta un entorno más seco (húmedo) de lo normal en 500, más húmedo (seco) en 300 hPa y más cálido (frío) entre 600 y 350 hPa, con débiles anomalías de T en todo el perfil.

CP	Varianza Explicada
CP1	31,98323154
CP2	27,13774337
CP3	12,20868368
CP4	9,994835224
CP5	7,345210308
CP6	5,361167799
CP7	3,311761377
CP8	2,030177836
CP9	0,627188863

Tabla I. Varianza explicada por las componentes principales



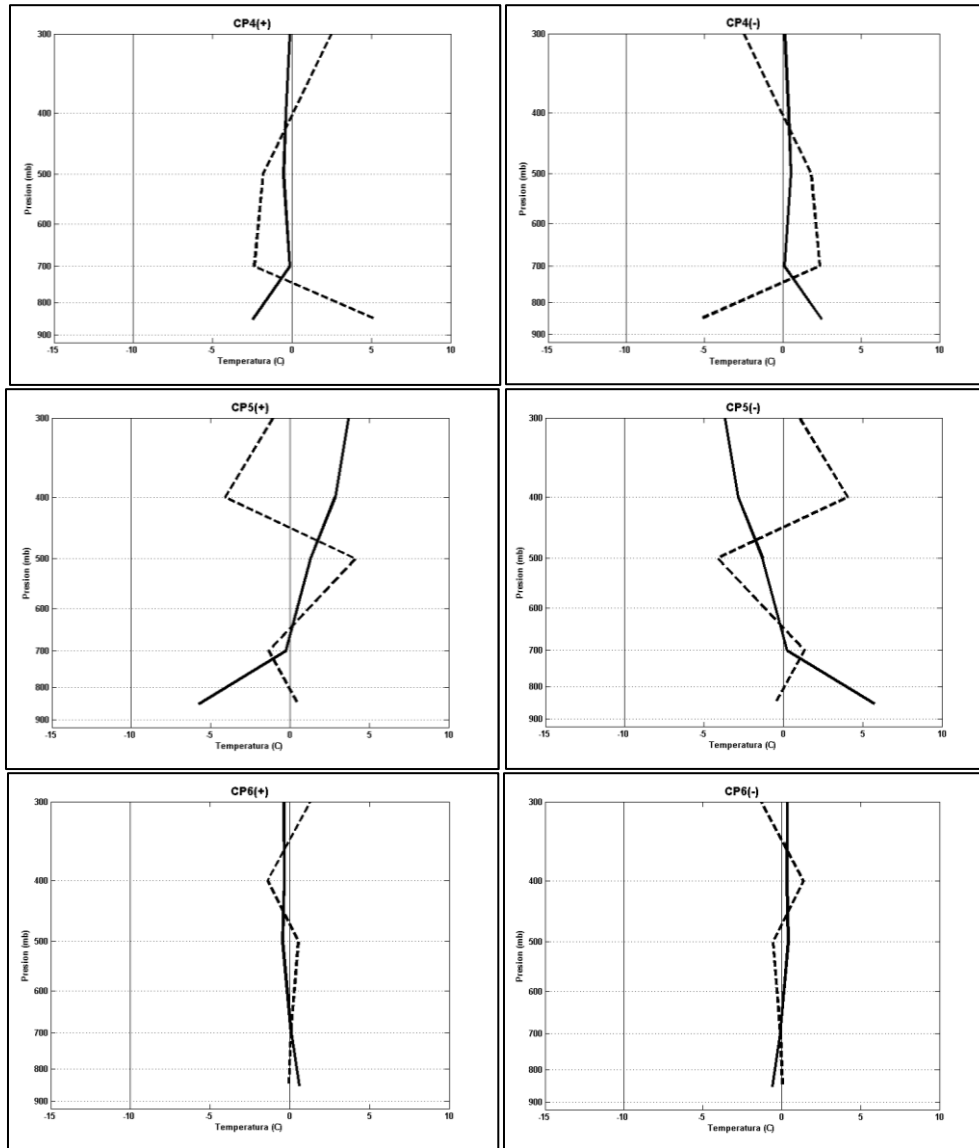


Figura 4: Izquierda: componentes principales en modo directo (+) e inverso (-), calculadas en base a desvíos estandarizados de los sondeos originales, por lo cual las desviaciones de Td pueden superar en algún nivel a las de T.

Los coeficientes de correlación R entre el índice de zonda / no-zonda  $c$  y las componentes de carga F para las CP retenidas, se muestran en la Tabla II. Las correlaciones significativas al 10% se encuentran marcadas en negrita. De acuerdo a los valores mostrados, la componente 2 se encuentran significativamente correlacionada con el índice  $c$  en sentido directo (coeficiente de correlación positivo) y las CP 4 y 5 en sentido inverso, indicando que los patrones descritos en modo inverso para esta componente (inverso para la 4 y 5) estarían asociados mayormente a eventos de zonda, mientras que los patrones en modo directo (directo para la 4 y 5) a ausencia del mismo. Consecuentemente, la presencia de zonda se vería favorecida en sondeos que presentan un entorno muy seco en la capa 850-500 hPa con un máximo en 700 hPa y anomalías positivas de T en todo el perfil, principalmente en niveles bajos. Esta característica de T se observa también en los modos inversos de las CP 4 y 5. Por su parte, la CP 4 muestra además un entorno húmedo entre 700 y 500 hPa y más seco en niveles bajos y altos y un débil gradiente de T en niveles medios. La CP 5 en modo inverso se caracteriza por anomalías negativas de Td son en 500 hPa y positivas en 400 hPa. Las CP 1, 3 y 6 no discriminan entre eventos ya que los coeficientes de correlación no son significativos para estas componentes (Tabla II).

CP	R	P
F1	0,0895	0,1412
<b>F2</b>	<b>0,3998</b>	<b>0,0117</b>
F3	0,0226	0,2478
<b>F4</b>	<b>-0,1762</b>	<b>0,0355</b>
F5	<b>-0,1660</b>	<b>0,0859</b>
<b>F6</b>	0,0198	0,2705

Tabla II: Coeficientes de correlación  $R$  entre el índice de zonda/no-zonda y las componentes de carga  $F$  para las primeras 6 componentes, junto a los niveles de significancia  $p$ . Los valores en negrita indican coeficientes distintos de cero al 10% de significancia.

Con el fin de comprobar la eficiencia del índice para predecir eventos de viento zonda, se la aplicó a 88 observaciones, nuevamente realizando iteraciones con cambios de fechas. Del total de observaciones, 44 corresponden a situaciones en las que se registró viento zonda (según el método de clasificación descripto) y 44 conciernen a entornos sin observación de viento zonda. En la figura 5 se observan los histogramas de porcentaje del índice para 1000 iteraciones. En el panel izquierdo se encuentra el histograma asociado a los sondeos de zonda, se puede notar que en más del 50% de los casos el índice pronostica la presencia de zonda con una probabilidad mayor al 70%, particularmente, más del 25% de los casos tienen probabilidad mayor al 90%. Del mismo modo, en el panel de la derecha se muestran los valores del índice para los sondeos de no-zonda.

En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos para el modelo en gráficas tipo box-plot en las que se representan sus valores extremos y cuartiles. Observando esta figura se propone un valor de corte definiendo un criterio en el cual se establece la ocurrencia de zonda si el índice estimado es mayor a 0,7 y la no ocurrencia cuando es menor a dicho valor. Se puede evaluar el porcentaje total de acierto de este criterio sumando la cantidad de casos en los cuales se verifica el criterio y dividiendo por la cantidad total de casos. De esta manera, la efectividad total del índice calculado en base a las componentes es del 74.7%, mientras el error se reparte en 11 % de probabilidad de falsa alarma (es decir, se pronosticó zonda y no hubo) y 14.3% de probabilidad de sorpresa (es decir, no se pronosticó zonda y hubo).

Por otra parte, los índices superiores a 0,9 corresponden a valores que se encuentran en la cola derecha del 10% de la distribución de casos de no-zonda, mientras los inferiores a 0,526 se encuentran en la cola izquierda de los casos de zonda. De esta manera, dado un sondeo cualquiera sobre el cual se estima el índice, un valor superior a 0,9 indicaría la ocurrencia futura de zonda con una probabilidad de error menor al 10%. Análogamente, un valor inferior a 0,526 indicaría la no ocurrencia de zonda con igual probabilidad de error. El rango comprendido entre 0,526 y 0,9 representa un intervalo de incertidumbre, que contiene el 38.5% del total de observaciones, en el cual el índice no discrimina para estos niveles de error.

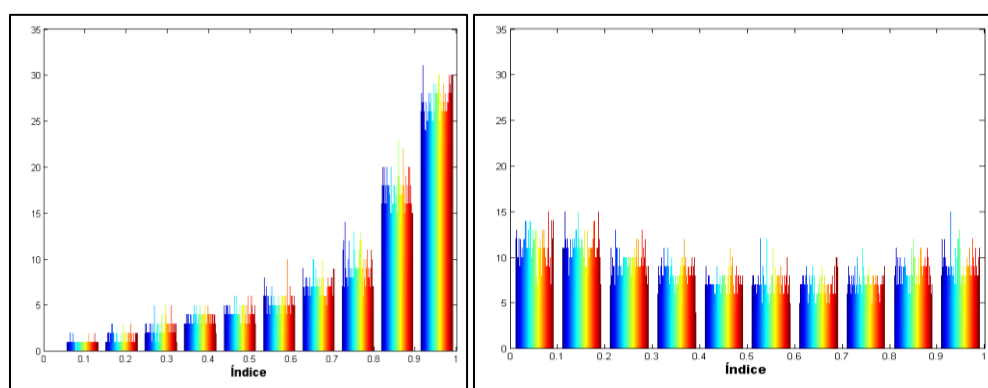


Figura 5. Histograma de porcentaje de acierto para 1000 iteraciones. Izq.: porcentaje de acierto a eventos de zonda. Der.: porcentaje de acierto a eventos no-zonda.



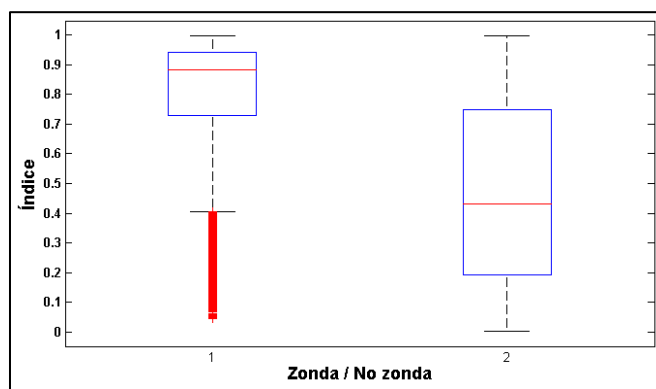


Figura 6: Box-plot asociado a los datos del histograma anterior. Los bigotes representan los percentiles 99.3 y 0.7 de la distribución respectivamente. Los puntos rojos representan outliers.

#### 4) CONCLUSIONES

El sondeo medio de los eventos de zonda posee una inversión térmica en niveles bajos y una depresión del punto de rocío mayor a 15 °C en todo el perfil. Las anomalías del perfil vertical asociado a eventos de viento zonda en superficie reflejan anomalías positivas de T (calentamiento) entre los niveles de 850 y 300 hPa y negativas entre 300 y 100 hPa. Este calentamiento tiene asociado anomalías negativas de Td entre 925 y 400 hPa, configuración que podría indicar que el efecto foehn ya ha comenzado en niveles medio pero todavía no ha alcanzado el nivel superficie. El mínimo relativo de anomalías negativas de T entre 300 y 150 hPa y anomalías positivas de Td en 250 hPa y negativas de Td en 200 hPa podría encontrarse relacionado a la presencia del jet en altura.

El análisis de componentes principales para caracterizar radiosondeos de Mendoza y su capacidad para identificar patrones asociados a la ocurrencia de viento zonda en superficie reveló 6 CP significativas que explican más del 94% de la varianza total. Las correlaciones entre el índice y las componentes de carga mostraron 3 CP significativamente correlacionada con el índice  $c$ , la componente 2 en sentido directo y las CP 4 y 5 en sentido inverso, indicando que la presencia de zonda se vería favorecida en sondeos que presentan un entorno muy seco en niveles medios con anomalías positivas de T en niveles bajos.

La eficiencia del índice para predecir eventos de viento zonda resultó que en más del 50% de los casos el índice pronostica la presencia de zonda con una probabilidad mayor al 70%, particularmente, más del 25% de los casos tienen probabilidad mayor al 90%. La efectividad del índice calculado en base a las componentes es de 74.7%, mientras el error se reparte en 11 % de probabilidad de falsa alarma (es decir, se pronosticó zonda y no hubo) y 14.3% de probabilidad de sorpresa (es decir, no se pronosticó convección y la hubo). De esta manera, dado un sondeo cualquiera sobre el cual se estima el índice, un valor superior a 0,9 indicaría la ocurrencia futura de zonda con una probabilidad de error menor al 10%. Análogamente, un valor inferior a 0,526 indicaría la no ocurrencia de zonda con igual probabilidad de error. El rango comprendido entre 0,526 y 0,9 representa un intervalo de incertidumbre, que contiene el 38.5% del total de observaciones, en el cual el índice no discrimina para estos niveles de error.

Por otra parte, definiendo un indicador en base a las observaciones meteorológicas reportadas en la estación de radiosondeo, y correlacionándolo mediante un modelo de regresión logística con las componentes de carga obtenidas del análisis de CP, se han logrado identificar los principales perfiles verticales que discriminan entre situaciones de zonda y no zonda. La gran cantidad de falsas alarmas y de casos sorpresa pueden deberse a dos causas principales. En primer lugar, no contar con suficientes datos en el nivel de 925 hPa. Podría obtenerse una mejora agregando los valores de superficie de estaciones meteorológicas. Otra de las causas puede deberse a que la presencia de zonda en superficie no siempre ocurre en una región puntual sino en diferentes partes. Una mayor certeza de la presencia de zonda en una región más amplia podría mejorar la efectividad del índice.

## 5) CITAS Y REFERENCIAS

- Araneo, D. C., Simonelli, S. C., Norte, F. A., Viale, M., & Santos, J. R. (2011):** Caracterización de sondeos estivales del norte de Mendoza mediante el análisis de componentes principales y obtención de un índice de convección. *Meteorológica*, 36(1), 31-47.
- Deming, J., Chaohua, D., Ruili, H. y Ronghui, C., (2008):** Impact assessment of additional predictors to the retrieval of atmospheric profiles from infrared radiances. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Art. n° 71520D.
- Duarte, M.L., (1993):** Temporal variations of the vertical profile of temperatures of Argentina. *Int. J. Climatol.*, 13, 437-445.
- Drechsel, S., & Mayr, G. J. (2008):** Objective forecasting of foehn winds for a subgrid-scale alpine valley. *Weather and Forecasting*, 23(2), 205-218.
- Norte, F., A., (1988):** Características del viento Zonda en la Región de Cuyo. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, 255 pp.
- Norte F.A. Seluchi M.E., (1993):** Objective methods for the Zonda forecasting using information from surface and height. *Proceedings of the 3rd Int.l Conf. SH Met and Oc*, A.M.S., Hobart, Australia.
- Norte, F, M. Silva, (1995):** "Predicting severe versus moderate Zonda wind in Argentina". 14<sup>th</sup> Conference on Weather Analysis and Forecasting" Dallas, Texas, E.E.U.U.. Pag. 128-129.
- Norte F.A., (1999):** A Hybrid Expert System for the Prediction of extreme meteorological situations such as the Zonda wind in the Cuyo Region, Western Argentina . Southern Hemisphere Paleo- and Neoclimates. Key sites, Methods Data and Models 172-173. Smolka, PP, University of Muenster, Springer – Verlag Berlin / Heidelberg 1999.
- Norte, F., A., Seluchi, M., E., (1993):** Objective methods for the zonda forecasting using information from surface and height. Preprints of the fourth international conference on the southern hemisphere meteorology and oceanography, Hobart, Australia, American Meteorological Society, March 29–April 2, 1993, pp 128–129
- Otero, F., Norte, F., (2014):** Análisis estadístico y métodos de clasificación del viento zonda en San Juan. XXVII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. 10-14 Noviembre 2014.
- Plavcan, D., Mayr, G., J. and Zeileis, A., 2014.** Automatic and probabilistic foehn diagnosis with a statistical mixture model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(3), 652-659.
- Smith, W.L. y Woolf, H.M., (1976):** The use of Eigenvectors of Statistical Covariance Matrices for Interpreting Satellite Sounding Radiometer Observations. *J. Atmos. Sci.*, 33, 1127-1140.
- Wang, J., Cole, H.L. y Carlson, D.J., (2001):** Water Vapor Variability in the Tropical Western Pacific from 20-year Radiosonde Data. *Advances in Atmospheric Sciences*, 18, N° 5, 752-766.