

## Tesis de Posgrado

# Características del viento zonda en la región de Cuyo

Norte, Federico Augusto

1988

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Norte, Federico Augusto. (1988). Características del viento zonda en la región de Cuyo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_2131\\_Norte.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2131_Norte.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Norte, Federico Augusto. "Características del viento zonda en la región de Cuyo". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1988.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_2131\\_Norte.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2131_Norte.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Tema de Tesis

CARACTERISTICAS DEL VIENTO ZONDA EN  
LA REGION DE CUYO

AUTOR

Federico Augusto Norte

Director de Tesis

Dr. Erich R. Lichtenstein

Lugar de Trabajo

Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
Mendoza - CONICET

Tesis presentada para optar al título de  
Doctor en Ciencias Meteorológicas

1988

A Susana Reyes, mi esposa

A Augusto, Maria Ana, Camila y Maria Antonieta,  
mis hijos

A Luis Alberto Norte y Amalia O'Donnell,  
mis padres

Al pueblo de Cuyo, tierra donde nací y crecí.

## CANCION DEL ZONDA

Cuando el Vivicón se enciende  
y las calandrias se ahogan,  
cuando la sed de la acequia  
enloquece a las palomas  
por el norte, tierra y fuego,  
ya viene soplando el Zonda.

Quien ha dejado en el aire  
ese volcán que solloza,  
quien muerde el racimo y quema  
la ternura de las hojas,  
Caliente, caliente vino  
va derramando su boca,  
Todo San Juan es un grito:  
!ya viene soplando el Zonda!

Cuando el Zonda despierta  
brama la sierra  
y la sangre del huarpe  
llora la acequia.

Canción de O. Zúccoli di Fidanza y H. Vieyra

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a una gran cantidad de personas e Instituciones que contribuyeron para que este trabajo de tesis pudiera llegar a su fin.

Fundamentalmente al Dr. Erich R. Lichtenstein quien en estos años, con su extraordinaria paciencia y sabiduría fue guiándome en los distintos aspectos que abarcó la investigación y con quien compartí momentos sumamente agradables deleitándonos en una especie de sinfonía, con los fenómenos de la Naturaleza.

Al equipo de trabajo que colaboró entusiastamente en las tareas en un clima de cordial compañerismo.

En especial a Martín Omar Silva quien participó activamente en las etapas más significativas de la tesis y que sin su aporte talentoso muchos de los programas computacionales no hubiesen sido obtenidos con eficiencia y celeridad.

A Julio Cristaldo por su trabajo minucioso y detallista en el análisis de las secuencias sinópticas y de las fajas de termohigrógrafo y sobretodo por su excelente buena voluntad.

A Rosa H. Compagnucci quien me alentaba a seguir adelante en las etapas iniciales del trabajo. Le agradezco en estas páginas su colaboración múltiple y sobretodo por haberme facilitado el archivo de datos de presión sin el cual muchos resultados y conclusiones no hubiesen podido ser obtenidos.

Al Dr. Walter M. Vargas que en sus visitas a Mendoza me exhortaba a continuar las investigaciones y dedicó parte de su tiempo al aporte de ideas y conceptos.

Al Dr. Mario Nestor Núñez, mi consejero de estudios.

Al ingeniero Francisco von Wuthenau, al profesor Arturo Roig, directores del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas y al Dr. Juan Carlos Leiva, jefe del Área de Ciencias de la Tierra quienes favorecieron constantemente al desarrollo de mis tareas.

A la gente de la Unidad de Meteorología de ese Área.

Al Dr. Ricardo Leiva por su asesoramiento respecto de los métodos matemático-estadísticos empleados.

Al Dr. Richard Branham, jefe del Servicio Centralizado de Computación, siempre dispuesto a solucionar cualquier inconveniente que pudiera surgir.

A Susana Bottero por su paciente trabajo de dibujar los gráficos y figuras.

A María Elena Soler, quien me ayudó desinteresadamente en la traducción del Resumen al idioma Inglés.

Al personal del I.A.Ni.Gla. (Instituto Argentino de Nivología y Glaciología) del Área de Ciencias de la Tierra y del CRICYT en general.

Al Servicio Meteorológico Nacional por proveer la casi totalidad de la información básica necesaria.

A la Oficina de Pronósticos y a la de Radiosondeos del Aeropuerto 'El Plumerillo' por brindar material sinóptico y aerológico y suministrar información toda vez que era requerida para las pruebas de los programas predictivos.

A mis colegas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y de la Comisión de Ciencias de la Tierra del CONICET que facilitaron mi concurrencia a eventos internacionales para difundir aspectos parciales referentes al tema del Viento Zonda.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) que mediante los Proyectos de Investigación Anuales Nros. 505438/85 y E.910/86 otorgó el apoyo financiero para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis padres que en estos años me apoyaron y ayudaron con profundo cariño.

A mis hijos a quienes les quité en varias oportunidades el tiempo de dedicación que se merecen.

A Susana, mi amiga, mi compañera, mi mujer, por su espíritu comprensivo y solidario.

F.A.N.

## RESUMEN

En zonas montañosas se observa ocasionalmente un viento fuerte que desciende desde la cresta al valle o al llano. Recibe distintas denominaciones según las zonas donde sopla; chinook en Estados Unidos y Canadá; föhn en los Alpes Europeos; Canterbury - northwester en Nueva Zelandia; berg wind en Sud Africa; Zonda en Argentina.

El objetivo principal de este trabajo de tesis es determinar la estructura del Viento Zonda y las causas de su aparición para obtener un diagnóstico de su comportamiento y métodos de pronóstico de alto grado de validación.

Los objetivos parciales o secundarios son: establecer el régimen climatológico de la ocurrencia del Zonda y los parámetros meteorológicos que lo acompañan en estaciones de ubicación geográfica y altura diferentes; analizar la estructura tridimensional del fenómeno; investigar sobre los procesos físicos involucrados en su aparición; establecer reglas de pronóstico objetivo en base a parámetros termodinámicos, sinópticos y climáticos.

Existen algunos antecedentes sobre el tema en nuestro país, en trabajos específicos y en otros donde si bien el tópico central no es el Zonda, el fenómeno aparece mencionado.

En el extranjero existe una bibliografía mucho más abundante referida al fenómeno, especialmente en Canadá, Estados Unidos, Suiza, Alemania y Austria.

Una caracterización geográfica mediante fotos satelitarias permite visualizar los distintos accidentes orográficos y las laderas montañosas principales.

Se realizó una climatología del llano, a partir de la selección subjetiva para las estaciones de los días de Viento Zonda con datos diarios de libretas meteorológicas.

Este método se desarrolló considerando un conjunto de variables o combinación de las mismas consideradas relevantes 'a priori' para identificar la ocurrencia de Viento Zonda, resultando ser satisfactoriamente eficaz ya que permite hallar casi todos los eventos de una serie prolongada.

Para corroborar la eficiencia de esta forma de identificación de casos, se aplicó el método estadístico del Análisis Discriminante Escalonado que permitió, además, establecer una jerarquía de las variables respecto a su mayor o menor incidencia en la discriminación de 'días de Viento Zonda' con los de ausencia del mismo. Se aplicó solamente a las ciudades de Mendoza y San Juan clasificando mejor los casos de esta última por la mayor frecuencia y mejor definición del fenómeno en esa localidad.

Las variaciones hidrotérmicas y el viento máximo alcanzado son los elementos que identifican mejor al día de Viento Zonda.

La ausencia de nubes bajas, la nubosidad lenticular y la de 'pared o franja' del Zonda desempeñan un papel importante en El Plumerillo (Aeropuerto de la ciudad de Mendoza).

En invierno el calentamiento es lo que mejor discrimina y durante el resto del año la disminución de humedad es el factor más relevante.

En el llano el Viento Zonda es un fenómeno poco frecuente, siendo bastante menor la ocurrencia de eventos severos o muy severos.

Con respecto a la marcha anual, es entre Mayo y Noviembre que ocurre la mayoría de casos y más de la mitad se registra entre Mayo y Agosto.

La menor frecuencia está condicionada a la altura sobre el nivel del mar y la distancia de la estación a la Cordillera o Precordillera.

El Viento Zonda tiende a soplar con mayor frecuencia de tarde, a la hora de la temperatura máxima y con menor frecuencia de madrugada, con un mínimo a la hora de la salida del sol. El calentamiento diurno influye sobre el aire frío de capas bajas y disminuye su contraste térmico, permitiendo la irrupción del viento en el llano.

Con los datos horarios de termohigrógrafos se realizó una climatología de Vallecitos (una estación de montaña a 2220 metros sobre el nivel del mar).

Se desarrollaron dos métodos indirectos de detección del fenómeno, uno el de Zonda térmico y otro el de Zonda higróscopico. El método tiene como objetivo determinar el incremento de temperatura que es necesario obtener en un intervalo de tiempo fijado para poder decir que se está en presencia de Zonda térmico, teniendo en cuenta la onda climática diaria.

El segundo, es semejante al anterior, teniendo como objetivo determinar la variación de humedad relativa que es necesario obtener a un intervalo de tiempo fijado, para decir que se está frente a un caso de Zonda higróscopico y ver en que medida coinciden con los de Zonda térmico y los de Viento Zonda real.

Los resultados indican que el higróscopico identifica mejor que el térmico a los casos de Zonda real.

La mayor frecuencia de horas con Zonda térmico y/o higróscopico corresponde al invierno. Inversamente a lo que sucede en el llano las horas de mayor frecuencia en esta estación de montaña corresponden a las inmediatas posteriores a la salida del sol. Esto podría ser consecuencia del efecto de brisa montaña-valle.

El Viento Zonda en la montaña presenta periodos continuos o pulsantes debido a la mayor rafasidad observada a esas alturas.

Existen muchos casos de Viento Zonda en alta montaña, que no aparecen en el llano, que se denominan en este trabajo "Zonda de altura".

La estructura tridimensional del fenómeno fue analizada seleccionando un caso típico de moderada intensidad ocurrido en la provincia de San Juan y norte de la de Mendoza, que llegó a las ciudades capitales de ambas provincias en la tarde del 23 de Agosto de 1983.

La situación sinóptica se caracterizó por una vaguada entrante desde el oeste y una cuña en el este del país; un frente caliente en el extremo noreste; la Depresión del Noroeste Argentino trasladada más al sur; un flujo moderado del norte en el centro del país y una depresión migratoria entrando al norte de la Patagonia con un frente frío acercándose a la Cordillera desde el oeste-sudoeste.



Se concluye que el Viento Zonda se produjo por el ascenso y posterior mayor descenso orográfico de una masa de aire prefrontal fuertemente baroclínica y que en la cúspide de la Cordillera apareció como un viento frío que se fue calentando adiabáticamente al descender.

El enfriamiento progresivo en las cumbres de la Cordillera se debió al acercamiento de una vaguada. El pasaje frontal fue posterior.

El flujo de aire se produjo al estilo de un 'chorro descendente' a alguna distancia y a alguna altura del perfil del terreno en la falda oriental de la cordillera provocando un rotor en ese espacio y la formación de lagunas de aire húmedo en las pendientes orientales de la Cordillera Frontal o Cordón del Plata.

Se establecieron las similitudes y diferencias entre el caso de Zonda moderado y los eventos severos. En estos el aire no desciende dejando lagunas protesidas sino que lo hace en forma de cascada siguiendo el relieve y su aparición en el llano está precedida de un Zonda continuo y prolongado en estaciones de montaña desde varias horas antes.

Con los datos de presión atmosférica reducida al nivel medio del mar, se analizaron los campos medios de presión (el campo medio total, el de días con Zonda, el del día anterior, el de dos días antes, el día posterior y los días con Zonda en altura).

Hay una alteración significativa en los días con Viento Zonda respecto del desarrollo climatológico de la situación sinóptica en superficie al observarse: el cinturón de bajas polares desplazado hacia latitudes menores; un sistema ciclónico sobre la Isla Chiloe y el oeste de Chubut; intensificación notable de la vaguada climatológica al oeste del país; existencia de un frente frío a una distancia media de 500 km al sudoeste de la ciudad de Mendoza.

A ambos lados de la cordillera se observa que la componente zonal del viento es significativamente mayor a la altura de la cresta de la cordillera. La tropósfera media presenta mayor cortante vertical del viento y por ende mayor baroclinicidad indicando estas condiciones el acercamiento de un sistema frontal.

Finalmente, de los resultados obtenidos al diagnosticar el Viento Zonda se obtienen reglas y métodos de pronóstico, algunos de ellos con un alto grado de verificación.

Se consideraron procedimientos sencillos como el método observacional empírico a partir de la forma, densidad y ubicación de las nubes que permiten inferir los desarrollos futuros posibles del fenómeno.

Se tuvieron en cuenta también elementos sinópticos y aerológicos de predicción.

Mediante la aplicación del Análisis Discriminante Escalonado a un conjunto de variables, se seleccionaron algunas que fueron asumidas como predictores. Entre ellas se destacan: la diferencia de presión entre San Juan y La Serena (Chile); la presión atmosférica de Puerto Montt; la depresión de punto de rocío de 850 hPa en El Plumerillo y la componente meridional del viento a 250 hPa en Quintero. Todos estos datos corresponden a las 12 UTC.

Se confeccionaron cuatro programas distintos; uno que trabaja con un gradiente espacial meridional y un gradiente espacial cuasi zonal; otro que utiliza los valores de presión atmosférica a 12 UTC de ciertas estaciones seleccionadas; un tercer programa predictor que usa parámetros derivados del radiosondeo de El Plumerillo y por último, otro programa predictor realizado con variables derivadas del radiosondeo de Quintero.

La evaluación de estos programas predictores implementados se realizó considerando pronósticos determinísticos y probabilísticos, resultando altamente satisfactoria. Los programas tienden a sobreestimar la probabilidad de ocurrencia de Zonda en el llano. Los casos de falsas alarmas superaron ampliamente a los de sorpresas.

Dada la eficacia y sencillez de los programas, éstos pueden ser implementados en forma operativa en cualquier oficina de pronósticos.

## ABSTRACT

In mountainous zones a strong wind can be occasionally observed, descending from the summit to the valley or to the plain. It is differently named, according to where it blows: chinook in the USA and Canada, föhn in the European Alps, Canterbury-northwester in New Zealand, berg wind in South Africa, Zonda wind in Argentina.

The main object of this thesis work is to determine the structure of the Zonda wind and the cause of its appearance, in order to obtain a diagnostic of its behavior and also forecast methods of high valid degree.

Other objects are: to establish the climatologic regime of the Zonda occurrence and the meteorologic parameters that go with it, in stations of different heights and geographic locations; to analyze the three-dimensional structure of the phenomenon; to investigate the physical processes involved in its appearance; to establish objective forecast rules based on thermodynamic, synoptic and climatic parameters.

There exist previous studies on this matter in our country, in works dealing with it specifically and in others, where Zonda may not be the subject, but it is mentioned. Bibliography regarding this phenomenon abounds outside the country, especially in Canada, USA, Switzerland, Germany and Austria.

Geographic characterization through satellite image allows to visualize the diverse orographic features and main mountain slopes.

A climatology of the plain was performed, considering the subjective selection for the Zonda day stations, with the daily data from meteorologic records.

This method was developed reckoning with a group of variables or their combination, which is considered relevant beforehand to identify the Zonda occurrence, resulting satisfactorily accurate as it leads to find almost all the events of a prolonged series.

In order to corroborate how accurate this way of identifying cases is, the Stepwise Discriminant Analysis statistic method was applied.

This allowed to establish a variable scale, respect their major or minor incidence, when discriminating among Zonda days and days lacking it. This was only applied to the cities of Mendoza and San Juan, being the events of the latter better classified, due to major frequency and better definition of the phenomenon in that locality.

Hygrometric variations and maximum wind reached are the elements that better identify a Zonda day.

Absence of low clouds, Zonda lenticular clouds and föhn-wall are important at "El Plumerillo" (Mendoza city airport). While warming is what makes for a better discrimination during the winter, dwindling humidity is the most relevant factor the rest of the year.

Zonda is not frequent in the plain, and severe or very severe events do not happen often. As for the annual variation, the major incidence is between May and Nov, and more than half of all the cases are recorded between May and Aug. Minor frequency is conditioned to height asl and to distance between the station and the cordillera or precordillera.

Zonda blows more frequently in the afternoon, at the maximum temperature time and less frequently at dawn, being minimum at sunrise time. The diurnal warming influences the cold air of lower layers and diminishes its thermic contrast, permitting the wind a violent entry into the plain.

A Vallecitos climatology (mountain station at 2220 m a.s.l) was performed, based on hourly data from the thermohydrographs.

Two indirect methods were developed to detect the phenomenon, one for thermic Zonda and the other for hygric Zonda. The first method tends to determine the temperature increase which needs to be obtained in a fixed time lag, in order to establish the presence of thermic Zonda considering the daily climatic wave.

The second method, similar to the first, tends to ascertain the relative humidity variation needed in a fixed time lag, to precise whether there is a case of hygric Zonda, also to observe whether it coincides with thermic Zonda and with real Zonda.

The highest frequency of hours with thermic and/or hygric Zonda correspond to winter. Inverse to what happens in the plain, highest frequency hours in this mountain station correspond to hours coming immediately after sunrise. This could result from the mountain-valley breeze effect.

Zonda in the mountain presents continuous or pulsing periods owing to the more frequent sustiness observed high up.

There are many cases of Zonda in the high mountains, which do not appear on the plain. In this work they are called 'high Zonda'.

The tridimensional structure of the phenomenon was analyzed selecting a typical case of moderate intensity, that happened in the province of San Juan and northern Mendoza province, which reached the capital cities of both provinces, in the afternoon of Aug. 23rd, 1983.

The synoptic situation was characterized by a trough entering through the west and a ridge in the east of the country; a warm front on the NE; the NW Argentine Depression moved south; a moderate northern flow in the middle of the country and a migratory depression entering through north of Patagonia, with a cold front reaching the Cordillera from the W-SW. The conclusion is that the Zonda was produced by a strongly baroclinic prefrontal airmass, undergoing an orographic lifting and a major descent afterwards, which appeared at the cordillera summit as a cold wind warming adiabatically while going down. The progressive cooling at the cordillera summit was due to a trough setting near. The frontal passage came later on.

The air flow was similar to a 'descending jet stream' not very far and at some height over the terrain profile in the oriental slope of the cordillera, provoking a rotor in that space and the formation of wet air parcels in the oriental slopes of the frontal cordillera or Cordón del Plata.

The similitudes and differences among moderate and severe Zonda events were ascertained. During the latter, air does not descend leaving protected air parcels, but it goes down like a 'cascade' following the terrain features, and blows continuously and largely on mountain stations many hours before its appearance on the plain.

Another stage consists of analyzing the mean, synoptic and aerologic conditions that so linked with it.

With the atmospheric pressure data reduced to the mean sea level, the mean pressure fields were analyzed; mean total field, field belonging to Zonda days, the one of the day before, pressure fields of two days before, and the one of the day after.

There is a significant alteration on Zonda days regarding the climatologic development of the surface synoptic situation. When this happens, it is observed: the low polar belt is displaced toward lower latitudes; the cyclonic system is over Chiloé Island and W of Chubut; there is a noticeable intensification of the climatologic trough, west of the country and the existence of a cold front at a mean distance of 500 km SW of the city of Mendoza.

The wind zonal component is significantly higher on both sides of the Cordillera, at the summit. The mean troposphere shows a major vertical shear of the wind and therefore, a bigger amount of baroclinicity indicating the arrival of a frontal system.

Finally, from the results reached when diagnosing the Zonda, forecasting rules and methods are obtained, some of which are highly verifiable.

Simple procedures, such as the empiric observational method starting from shape, density and location of clouds, permit to infer the possible future developments of the phenomenon.

Prediction aerological and synoptic elements were also considered.

The Stepwise Discriminant Analysis was applied to a group of variables, some of which were selected to be assumed as predictors. The following should be noticed: pressure difference among San Juan and La Serena (Chile); atmospheric pressure of Puerto Montt; dew-point depression of El Plumerillo at 850 hPa and meridional wind component at 250 hPa at Quintero. All these data correspond to 12 UTC.

Four different programs were performed: one works with a meridional spatial gradient and an almost zonal spatial gradient; another one utilizes the atmospheric pressure values at 12 UTC from several selected stations; a third predictor program uses parameters derived from El Plumerillo radio-sonde and finally, another predictor program executed with variables deriving from Quintero radio-sonde.

These predictor programs were evaluated taking into account the probabilistic and deterministic forecasts, resulting highly satisfactory. The programs tend to overestimated the probability of Zonda occurring in the plain. False alarms largely surpassed surprise cases.

Because of the efficiency and simplicity of these programs, they can be operatively carried out in any forecasting office.

## CONTENIDO

RESUMEN . . . . .	6
ABSTRACT . . . . .	10
INDICE . . . . .	13
LISTA DE FIGURAS . . . . .	16
LISTA DE TABLAS . . . . .	22
ABREVIATURAS Y SIMBOLOS UTILIZADOS . . . . .	25
CAPITULO 1            ANTECEDENTES DEL VIENTO ZONDA, DATOS Y METODOLOGIA EMPLEADOS	
1.1            OBJETIVOS . . . . .	1-1
1.2            CONSIDERACIONES GENERALES Y ANTECEDENTES . . . . .	1-1
1.3            CARACTERIZACION GEOGRAFICA DE LA REGION DE ESTUDIO	1-5
1.4            DATOS UTILIZADOS . . . . .	1-9
1.5            METODOLOGIA . . . . .	1-14
1.6            MEDIOS UTILIZADOS . . . . .	1-15
CAPITULO 2            CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DEL VIENTO ZONDA EN LA REGION DE CUYO	
2.1            INTRODUCCION . . . . .	2-1
2.2            CLIMATOLOGIA DEL VIENTO ZONDA EN ESTACIONES DEL LLANO . . . . .	2-2
2.2.1            Identificación de casos a partir de datos diarios de libretas meteorológicas . . . . .	2-2
2.2.1.1            El problema de la definición . . . . .	2-2
2.2.1.2            El método del Análisis Discriminante Escalonado (ADE) . . . . .	2-4
2.2.2            Resultados climatológicos obtenidos . . . . .	2-8
2.2.2.1            Resumen general . . . . .	2-8
2.2.2.2            Los casos de Viento Zonda severo . . . . .	2-13
2.2.2.3            Identificación de casos a partir de datos horarios de secuencias sinópticas . . . . .	2-14
2.2.2.3.1            En San Juan . . . . .	2-14
2.2.2.3.2            En Mendoza (Aeropuerto El Plumerillo) . . . . .	2-16
2.2.2.3.3            En San Rafael . . . . .	2-23
2.3            CLIMATOLOGIA DEL VIENTO ZONDA EN UNA ESTACION DE MONTANA . . . . .	2-25
2.3.1            El Zonda térmico . . . . .	2-25
2.3.2            El Zonda hídrico . . . . .	2-37
2.4            CLIMATOLOGIA DEL VIENTO ZONDA EN ALTURA . . . . .	2-44
2.5            CONCLUSIONES . . . . .	2-44
CAPITULO 3            A. EL VIENTO ZONDA DEL 23 DE AGOSTO DE 1983	
3.1            INTRODUCCION . . . . .	3-1
3.2            LA SITUACION SINOPTICA . . . . .	3-1
3.2.1            Condiciones previas . . . . .	3-3
3.2.2            Condiciones el día de Viento Zonda . . . . .	3-16
3.2.3            Condiciones posteriores . . . . .	3-27
3.3            ANALISIS DE RADIOSONDEOS . . . . .	3-27

3.3.1	A barlovento de Los Andes . . . . .	3-27
3.3.2	A sotavento de Los Andes . . . . .	3-32
3.4	DISTRIBUCION VERTICAL DEL VIENTO . . . . .	3-39
3.4.1	A barlovento de Los Andes . . . . .	3-39
3.4.2	A sotavento de Los Andes . . . . .	3-39
3.5	ANALISIS DE CORTES VERTICALES . . . . .	3-46
3.5.1	Condiciones previas (día 22) . . . . .	3-46
3.5.2	Condiciones predominantes el día 23 . . . . .	3-46
3.5.3	Condiciones posteriores (día 24) . . . . .	3-51
3.6	DIAGNOSTICO ESPACIO-TEMPORAL DE MESOESCALA . . .	3-51
3.6.1	La disminución de presión . . . . .	3-51
3.6.2	Diagnóstico espacio-temporal en una transecta latitudinal . . . . .	3-53
3.6.3	Singularidades en la velocidad y dirección del viento . . . . .	3-57
3.6.3.1	En alta montaña . . . . .	3-57
3.6.3.2	En precordillera . . . . .	3-57
3.6.3.3	En el llano . . . . .	3-57
3.6.4	Diagnóstico espacio-temporal en localidades cuyanas mediante el análisis sinóptico-secuencial . . . . .	3-57
3.7	CONCLUSIONES . . . . .	3-63

B. CASOS DE VIENTO ZONDA SEVERO.

COMPARACION CON EL CASO DEL 23/8/83	3-65
-------------------------------------	------

CAPITULO 4           CONDICIONES SINOPTICAS Y AEROLOGICAS ASOCIADAS AL ZONDA

4.1	ANALISIS DE LOS CAMPOS MEDIOS DE PRESION . . . . .	4-1
4.1.1	El campo bórico medio total . . . . .	4-1
4.1.2	La presión los días con Viento Zonda . . . . .	4-1
4.1.3	La presión el día anterior al evento . . . . .	4-6
4.1.4	La presión dos días antes del fenómeno . . . . .	4-11
4.1.5	La presión los días de Zonda en altura . . . . .	4-11
4.1.6	La presión los días sin Zonda . . . . .	4-11
4.1.7	La presión el día posterior al fenómeno . . . . .	4-11
4.2	EL VIENTO ZONDA Y LA PROXIMIDAD DE FRENTE FRIO	4-15
4.3	LA ESTRUCTURA VERTICAL DE LA ATMOSFERA . . . . .	4-15
4.3.1	Análisis de radiosondeos . . . . .	4-16
4.3.1.1	A barlovento de Los Andes . . . . .	4-16
4.3.1.2	A sotavento de Los Andes . . . . .	4-20
4.3.2	Comparación de resultados obtenidos a ambos lados de la cordillera . . . . .	4-26
4.4	CONCLUSIONES . . . . .	4-27

CAPITULO 5           METODOS DE PRONOSTICO

5.1	INTRODUCCION . . . . .	5-1
5.2	METODOS OBSERVACIONALES EMPIRICOS . . . . .	5-1
5.3	ELEMENTOS SINOPTICOS Y AEROLOGICOS DE PREDICCION .	5-8
5.4	OBTENCION DE PREDICTORES UTILIZANDO EL ANALISIS DISCRIMINANTE ESCALONADO . . . . .	5-9

5.4.1	Gradientes espaciales de presión como predictores . . . . .	5-12
5.4.2	Presión atmosférica de diferentes estaciones como predictores . . . . .	5-13
5.4.3	Datos del radiosondeo de El Plumerillo como predictores . . . . .	5-15
5.4.4	Datos del radiosondeo de Quintero como predictores . . . . .	5-16
5.5	LOS PROGRAMAS PREDICTORES . . . . .	5-17
5.6	VERIFICACION DE LOS PRONOSTICOS . . . . .	5-18
5.6.1	Pronóstico determinístico de la ocurrencia de Viento Zonda . . . . .	5-18
5.6.2	Pronóstico probabilístico del fenómeno . . . . .	5-26
5.7	CONCLUSIONES . . . . .	5-27

BIBLIOGRAFIA

APENDICE A EL PROGRAMA DE ANALISIS DISCRIMINANTE ESCALONADO (ADE)

APENDICE B CARACTERISTICAS DE ALGUNOS CASOS SEVEROS DE VIENTO ZONDA

B.1	ASPECTOS SINOPTICOS . . . . .	B-1
B.2	ANALISIS DE RADIOSONDEOS . . . . .	B-1
B.2.1	A barlovento de la cordillera . . . . .	B-9
B.2.2	A sotavento de la cordillera . . . . .	B-9
B.3	DIAGNOSTICO ESPACIO-TEMPORAL DE MESOESCALA . . . . .	B-9
B.3.1	La variación de la presión . . . . .	B-9
B.3.2	Diagnóstico espacio-temporal de un caso severo en ciudades cuyanas mediante el análisis sinoptico secuencial . . . . .	B-18
B.3.2.1	Secuencias horarias del caso del 27 de Mayo de 1986 . . . . .	B-18
B.3.2.2	Resultados del análisis secuencial . . . . .	B-21
B.3.3	Diagnóstico espacio-temporal en transectas latitudinales . . . . .	B-23
B.3.3.1	La distribución vertical del viento . . . . .	B-24

APENDICE C ESTACIONES UTILIZADAS

APENDICE D A MANERA DE GLOSARIO

EPILOGO



## LISTA DE FIGURAS

1.1	FOTOGRAFIA DE IMAGEN SATELITARIA DE LA ZONA NOROESTE DE LA PROVINCIA DE MENDOZA QUE INCLUYE LA CIUDAD CAPITAL . . . . .	1-6
1.2	FOTOGRAFIA DE IMAGEN SATELITARIA DE LA REGION DEL CORDON DEL PLATA . . . . .	1-7
1.3	FOTOGRAFIA DE IMAGEN SATELITARIA DE LA ZONA SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN QUE INCLUYE CIUDAD CAPITAL . . . . .	1-8
1.4	MAPA DEL CENTRO-OESTE ARGENTINO Y REGION CENTRAL DE CHILE DONDE FIGURAN LAS PRINCIPALES ESTACIONES DE LA REGION UTILIZADAS . . . . .	1-10
1.5	TRANSECTA OROGRAFICA LATITUDINAL A 30° 15' S . . . . .	1-11
1.6	TRANSECTA OROGRAFICA LATITUDINAL A 33° 46' S . . . . .	1-11
1.7	TRANSECTA OROGRAFICA LATITUDINAL A 32° 50' S . . . . .	1-12
1.8	DEL PERIODO 1974/83 . . . . .	1-13
2.1	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA EN JACHAL . . . . .	2-9
2.2	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA EN SAN JUAN . . . . .	2-9
2.3	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA EN EL PLUMERILLO . . . . .	2-10
2.4	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA EN SAN MARTIN . . . . .	2-10
2.5	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA EN SAN CARLOS . . . . .	2-11
2.6	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA EN SAN RAFAEL . . . . .	2-11
2.7	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE LAS HORAS DEL DIA CON ZONDA, CON ETAPA TRANSICIONAL O CON CUALQUIERA DE AMBAS ETAPAS, EN SAN JUAN . . . . .	2-17
2.8	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE LA HORA DE COMIENZO DE VIENTO ZONDA, DE LA ETAPA TRANSICIONAL O DE CUALQUIERA DE AMBAS ETAPAS, EN SAN JUAN . . . . .	2-18
2.9	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE LA HORA DE FINALIZACION DEL VIENTO ZONDA, EN SAN JUAN . . . . .	2-18
2.10	CANTIDAD DE HORAS DE DURACION DEL ZONDA (EN PORCENTAJES) PARA SAN JUAN, EL PLUMERILLO Y SAN RAFAEL . . . . .	2-19
2.11	FRECUENCIA DE LA DIRECCION DEL VIENTO ZONDA (EN PORCENTAJES RESPECTO DEL TOTAL) EN SAN JUAN, EL PLUMERILLO Y SAN RAFAEL . . . . .	2-20
2.12	FRECUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO ZONDA (EN PORCENTAJES RESPECTO DEL TOTAL) EN SAN JUAN, EL PLUMERILLO Y SAN RAFAEL . . . . .	2-21
2.13	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE HORAS DEL DIA CON VIENTO ZONDA EN EL PLUMERILLO . . . . .	2-22
2.14	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE HORAS DE COMIENZO DE VIENTO ZONDA EN EL PLUMERILLO . . . . .	2-22
2.15	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE HORAS DE FINALIZACION EN EL PLUMERILLO . . . . .	2-22
2.16	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE HORAS DEL DIA CON VIENTO ZONDA EN SAN RAFAEL . . . . .	2-24
2.17	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE HORAS DE INICIACION DEL VIENTO ZONDA EN SAN RAFAEL . . . . .	2-24
2.18	DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE HORA DE FINALIZACION DEL VIENTO ZONDA EN SAN RAFAEL . . . . .	2-24
2.19	VARIACION DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA MES A MES EN VALLECITOS . . . . .	2-26
2.20	DEFINICION DEL ZONDA TERMICO EN EL MES DE MAYO DE 1983 PARA DISTINTOS VALORES DEL LIMITE KJ . . . . .	2-28
2.20a	CON KJ = 0.5 . . . . .	2-28
2.20b	CON KJ = 1.5 . . . . .	2-29

2.20c	CON KJ = 2.5 . . . . .	2-30
2.20d	CON KJ = 4.0 . . . . .	2-31
2.21	CASOS DE ZONDA PULSANTE Y CONTINUO EN VALLECITOS ENTRE EL 23 Y EL 26 DE SETIEMBRE DE 1983 SEGUN FAJAS DE TERMOHIGROGRAFOS . . . . .	2-33
	CASOS DE ZONDA PULSANTE Y CONTINUO EN VALLECITOS EN MAYO DE 1983 SEGUN METODO COMPUTACIONAL . . . . .	2-34
2.23	MARCHA ANUAL DEL ZONDA TERMICO EN VALLECITOS EXPRESADA EN NUMERO MEDIO DE CASOS POR MES . . . . .	2-35
2.24	MARCHA ANUAL DEL ZONDA TERMICO EN VALLECITOS EXPRESADA EN PORCENTAJE DE HORAS EN QUE SE REGISTRA RESPECTO DEL TOTAL DE HORAS POR MES . . . . .	2-36
2.25	MARCHA HORARIA DE LA HUMEDAD RELATIVA MEDIA, MES A MES, EN VALLECITOS . . . . .	2-38
2.26	MARCHA HORARIA DE LA VARIACION DE LA HUMEDAD RELATIVA MEDIA ENTRE UNA HORA Y LA SIGUIENTE ( $\Delta H_c$ ) EN VALLECITOS . . . . .	2-39
2.27	HUMEDAD RELATIVA HORARIA DE MAYO DE 1983 EN VALLECITOS . . . . .	2-40
2.28	PERIODO DE ZONDA HIGRICO EN MAYO DE 1983 SI SE CUMPLE QUE [ $\Delta x > -14$ ] < 35 % . . . . .	2-41
2.29	PERIODO DE ZONDA HIGRICO EN MAYO DE 1983 SI SE CUMPLE QUE [ $\Delta x > -8$ ] < 40 % . . . . .	2-42
2.30	PERIODO DE ZONDA HIGRICO EN MAYO DE 1983 SI SE CUMPLE QUE [ $\Delta x > -6$ ] < 48 % . . . . .	2-43
2.31	TERMOHIGROGRAMA DE LA SEMANA DEL 11 AL 18 DE MAYO DE 1983 . . . . .	2-45
2.32	MARCHA ANUAL DEL ZONDA HIGRICO CONSIDERANDO EL NUMERO MEDIO DE CASOS MES A MES (VALLECITOS) . . . . .	2-46
2.33	MARCHA ANUAL DEL ZONDA HIGRICO CONSIDERANDO EL PORCENTAJE DE HORAS EN QUE SE REGISTRA RESPECTO DEL TOTAL DE HORAS POR MES (VALLECITOS) . . . . .	2-47
2.34	MARCHA ANUAL MEDIA DEL ZONDA EN ALTURA . . . . .	2-48
3.1	MARCHA DE LA ALTURA DE LA SUPERFICIE ISOBARICA DE 500 hPa DE EL PLUMERILLO DEL 15/7/83 AL 15/9/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-2
3.2	SITUACION SINOPTICA DE SUPERFICIE DEL 19/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-4
3.3	CARTA DE LA SUPERFICIE DE 500 hPa DEL 19/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-5
3.4	SITUACION SINOPTICA DE SUPERFICIE DEL 20/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-6
3.5	CARTA DE LA SUPERFICIE DE 500 hPa DEL 20/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-7
3.6	SITUACION SINOPTICA DE SUPERFICIE DEL 21/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-8
3.7	CARTA DE LA SUPERFICIE DE 500 hPa DEL 21/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-9
3.8	SITUACION SINOPTICA DE SUPERFICIE DEL 22/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-10
3.9	CARTA DE LA SUPERFICIE DE 500 hPa DEL 22/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-11
3.10	CAMPO DE $\theta_e$ EN SUPERFICIE DEL 22/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-12
3.11	ANALISIS DE $\theta_e$ EN 500 hPa DEL 22/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-13
3.12	CARTA ISALOBARICA DE 24 HORAS DEL DIA 22 DE AGOSTO DE 1983 A LAS 12 UTC . . . . .	3-14

3.13	NEFOANALISIS DEL DIA 22/8/83 . . . . .	3-15
3.14	SITUACION SINOPTICA DE SUPERFICIE DEL 23/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-17
3.15	CARTA DEL NIVEL DE 850 hPa DEL 23/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-18
3.16	CARTA DEL NIVEL DE 700 hPa DEL 23/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-19
3.17	CARTA DEL NIVEL DE 500 hPa DEL 23/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-20
3.18	CARTA DEL NIVEL DE 250 hPa DEL 23/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-21
3.19	CARTA DE ESPESORES 500/1000 hPa DEL 23/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-22
3.20	SITUACION SINOPTICA DE SUPERFICIE DEL 23/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-23
3.21	CAMPO DE $\theta_e$ EN SUPERFICIE DEL 23/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-24
3.22	ANALISIS DE $\theta_e$ EN 500 hPa DEL 23/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-25
3.23	CARTA ISALOBARICA DE 24 HORAS DEL DIA 23 DE AGOSTO DE 1983 A LAS 12 UTC . . . . .	3-26
3.24	SITUACION SINOPTICA DE SUPERFICIE DEL 24/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-28
3.25	CAMPO DE $\theta_e$ EN SUPERFICIE DEL 24/8/83 A LAS 18 UTC . . . . .	3-29
3.26	ANALISIS DE $\theta_e$ EN 500 hPa DEL 24/8/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-30
3.27	CARTA ISALOBARICA DE 24 HORAS DEL DIA 24 DE AGOSTO DE 1983 A LAS 12 UTC . . . . .	3-31
3.28	RADIOSONDEO DE QUINTERO DIA 22 A LAS 12 UTC . .	3-33
3.29	RADIOSONDEO DE QUINTERO DIA 23 A LAS 12 UTC . .	3-34
3.30	RADIOSONDEO DE QUINTERO DIA 24 A LAS 12 UTC . .	3-35
3.31	RADIOSONDEO DE EL PLUMERILLO DIA 22 A LAS 12 UTC	3-36
3.32	RADIOSONDEO DE EL PLUMERILLO DIA 23 A LAS 12 UTC	3-37
3.33	RADIOSONDEO DE EL PLUMERILLO DIA 24 A LAS 12 UTC	3-38
3.34	HODOGRAFA DE QUINTERO DEL 23 DE AGOSTO DE 1983 Y HODOGRAFA MEDIA DE AGOSTOS 1974/83 A LAS 12 UTC	3-40
3.35	COMPONENTE ZONAL $u$ , MERIDIONAL $v$ Y VIENTO TOTAL $V$ EN QUINTERO DEL 23 DE AGOSTO A LAS 12 UTC . .	3-41
3.36	COMPONENTE ZONAL $u$ , MERIDIONAL MEDIA $v$ Y VIENTO TOTAL $V$ DE AGOSTOS 1974/83 A LAS 12 UTC . . . .	3-42
3.37	HODOGRAFA DE EL PLUMERILLO DEL 23 DE AGOSTO DE 1983 Y HODOGRAFA MEDIA DE AGOSTOS 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	3-43
3.38	COMPONENTE ZONAL MEDIA $u$ , MERIDIONAL MEDIA $v$ Y VIENTO TOTAL MEDIO $V$ DE EL PLUMERILLO A LAS 12 UTC, 23 DE AGOSTO 1983 . . . . .	3-44
3.39	COMPONENTE ZONAL MEDIA $u$ , MERIDIONAL MEDIA $v$ Y VIENTO TOTAL MEDIO $V$ DE EL PLUMERILLO A LAS 12 UTC, AGOSTOS 1974/83 . . . . .	3-45
3.40	CORTE VERTICAL DE LA HUMEDAD ESPECIFICA $q$ EL DIA 22 A LAS 12 UTC . . . . .	3-47
3.41	CORTE DE TEMPERATURA POTENCIAL $\theta$ EL DIA 22 A LAS 12 UTC . . . . .	3-47
3.42	CORTE DE TEMPERATURA POTENCIAL EQUIVALENTE $\theta_e$ EL DIA 22 A LAS 12 UTC . . . . .	3-48
3.43	CORTE DE $q$ EL DIA 23 A LAS 12 UTC . . . . .	3-48
3.44	CORTE DE $\theta$ EL DIA 23 A LAS 12 UTC . . . . .	3-49

3.45	CORTE DE $\theta_e$ EL DIA 23 A LAS 12 UTC . . . . .	3-49
3.46	CORTE DE $\alpha$ EL DIA 24 A LAS 12 UTC . . . . .	3-50
3.47	DESVIACION DE LA PRESION RESPECTO DE LA MEDIA DE AGOSTO EN CRISTO REDENTOR Y EL PLUMERILLO, VARIACION TERMICA DE CRISTO REDENTOR . . . . .	3-52
3.48	CURVAS DE HUMEDAD RELATIVA DE LA TRANSECTA LATITUDINAL DE LOS DIAS 22, 23 Y 24 DE AGOSTO DE 1983 . . . . .	3-54
3.49	VARIACION HIGROTERMICA EN LA PAZ LOS DIAS 23, 24 Y 25 DE AGOSTO DE 1983 (EFECTO ZONDA) . . . . .	3-55
3.50	DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURA Y DE PUNTO DE ROCIO A LAS 15 HOA Y SU COMPARACION CON LA DISTRIBUCION DE LAS 9 HOA (DIA 23/8/83) . . . . .	3-56
3.51	ANEMOCINEMOGRAMA DE CRISTO REDENTOR DEL 23 DE AGOSTO DE 1983 . . . . .	3-58
3.52	BAROGRAMA DE CRISTO REDENTOR, DIA 23 DE AGOSTO DE 1983 . . . . .	3-58
3.53	ANEMOGRAMAS DE VALLECITOS, LA AGUADITA Y SAN JOSE RELACIONADOS CON EL EVENTO DEL 23/8/83 . . . . .	3-59
3.53a	VALLECITOS . . . . .	3-59
3.53b	LA AGUADITA . . . . .	3-60
3.53c	SAN JOSE . . . . .	3-61
3.54	ANEMOCINEMOGRAMA DE SAN JUAN DEL 23 DE AGOSTO DE 1983 . . . . .	3-62
3.55	ANEMOCINEMOGRAMA DE SAN LUIS DEL 23 DE AGOSTO DE 1983 . . . . .	3-62
3.56	SECUENCIAS SINOPTICAS HORARIAS DE LOCALIDADES CUYANAS RELACIONADAS AL CASO DEL 23/8/83 . . . . .	3-62a
4.1	CAMPO MEDIO DE LA PRESION ATMOSFERICA A NIVEL DEL MAR PARA LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC (CAMPO BARICO MEDIO TOTAL) . . . . .	4-2
4.2	CAMPO BARICO MEDIO DE 12 UTC DE DIAS DE ZONDA DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 . . . . .	4-3
4.3	ANOMALIAS DEL CAMPO BARICO MEDIO DE DIAS CON ZONDA RESPECTO DEL CAMPO MEDIO TOTAL . . . . .	4-4
4.4	CAMPO ISALOBARICO MEDIO DE DIAS CON ZONDA, DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-5
4.5	CAMPO BARICO MEDIO DEL DIA ANTERIOR AL ZONDA, DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-7
4.6	ANOMALIAS DEL CAMPO BARICO MEDIO DEL DIA ANTERIOR AL ZONDA RESPECTO DEL CAMPO BARICO MEDIO TOTAL . . . . .	4-8
4.7	CAMPO ISALOBARICO MEDIO DEL DIA ANTERIOR AL ZONDA, DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-9
4.8	ANOMALIAS DEL CAMPO BARICO MEDIO DE DOS DIAS ANTES DEL ZONDA, RESPECTO DEL CAMPO BARICO MEDIO TOTAL . . . . .	4-10
4.9	CAMPO BARICO MEDIO DE DIAS CON ZONDA EN ALTURA, DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-12
4.10	CAMPO BARICO MEDIO PARA DIAS SIN ZONDA NI EN EL LLANO NI EN ALTURA, INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-13
4.11	CAMPO ISALOBARICO MEDIO DEL DIA POSTERIOR AL DE ZONDA, INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-14
4.12	DISTRIBUCION VERTICAL MEDIA DEL VIENTO PARA DIAS CON ZONDA Y PARA EL GRUPO TOTAL DE DIAS EN	

	QUINTERO, INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-18
4.13	DISTRIBUCION VERTICAL MEDIA DEL VIENTO PARA DIAS CON ZONDA Y PARA EL GRUPO TOTAL DE DIAS EN EL PLUMERILLO, INVIERNOS DEL PERIODO 1984/83 A LAS 12 UTC . . . . .	4-18
4.14	VARIACION VERTICAL DE VALORES DEL TEST 't' DE STUDENT (DE TEMPERATURA, PUNTO DE ROCIO Y DEPRESION DEL PUNTO DE ROCIO) DEL GRUPO DE DIAS CON ZONDA RESPECTO AL GRUPO DEL TOTAL DE DIAS . . . . .	4-24
4.15	VARIACION VERTICAL DE LOS VALORES DEL TEST 't' DE STUDENT (DE TEMPERATURA, PUNTO DE ROCIO Y DEPRESION DEL PUNTO DE ROCIO) DEL GRUPO DE DIAS CON ZONDA EN ALTURA RESPECTO DEL GRUPO DEL TOTAL DE DIAS . . . . .	4-24
4.16	VARIACION VERTICAL DE VALORES DEL TEST 't' DE STUDENT (DE TEMPERATURA, PUNTO DE ROCIO Y DEPRESION DEL PUNTO DE ROCIO) DEL GRUPO DE DIAS SIN ZONDA RESPECTO DEL GRUPO TOTAL DE DIAS . . . . .	4-25
5.1	FOTOGRAFIA TOMADA DESDE EL CRICYT EN DIRECCION SUDOESTE HACIA EL CORDON DEL PLATA EL DIA 30 DE ABRIL DE 1986 A LAS 17:40 HOA . . . . .	5-2
5.2	FOTOGRAFIA TOMADA DESDE EL CRICYT EN DIRECCION SUDOESTE EL DIA 5 DE MAYO DE 1986 A LAS 16 HOA . . . . .	5-3
5.3	FOTOGRAFIA TOMADA DESDE GODOY CRUZ (A UNOS 8 KM AL SUR DEL CRICYT) EN DIRECCION NORTE, A LAS 19 HOA DEL DIA 16 DE JUNIO DE 1986 A LA PUESTA DEL SOL . . . . .	5-4
5.4	FOTOGRAFIA TOMADA DESDE EL CRICYT EN DIRECCION NOROESTE A LAS 15 HOA DEL DIA 26 DE MAYO DE 1986 . . . . .	5-5
5.5	FOTOGRAFIA TOMADA DESDE GODOY CRUZ EN DIRECCION SUDOESTE EL DIA 26 DE MAYO DE 1986 A LAS 8:30 HOA . . . . .	5-6
5.6	FOTOGRAFIA TOMADA DESDE EL CRICYT EN DIRECCION OESTE-SUDOESTE EL DIA 12 DE JUNIO DE 1986 A LAS 9:30 HOA . . . . .	5-7
5.7	FOTOGRAFIA TOMADA DESDE EL CRICYT EN DIRECCION OESTE EL DIA 27 DE MAYO DE 1986 A LAS 9 HOA (INICIACION DE UN CASO SEVERO) . . . . .	5-8
5.8	VARIACION DE LA PRESION EN EL PLUMERILLO Y SANTIAGO DE CHILE LOS DIAS PROXIMOS ANTERIORES Y POSTERIORES AL 24 DE AGOSTO DE 1981 . . . . .	5-10
5.9	VARIACION DE LA PRESION EN EL PLUMERILLO Y SANTIAGO DE CHILE LOS DIAS PROXIMOS ANTERIORES Y POSTERIORES AL 27 DE AGOSTO DE 1982 . . . . .	5-10
5.10	VARIACION DE LA PRESION EN EL PLUMERILLO Y SANTIAGO DE CHILE LOS DIAS PROXIMOS ANTERIORES Y POSTERIORES AL 13 Y 15 DE OCTUBRE DE 1976 . . . . .	5-11
5.11	HISTOGRAMAS DE PROBABILIDADES DE 'SI ZONDA' Y 'SI OCURRENCIA' (ACIERTOS) . . . . .	5-22
5.11a	CON PP1 . . . . .	5-22
5.11b	CON PP2 . . . . .	5-22
5.11c	CON PP3 . . . . .	5-23
5.11d	CON PP4 . . . . .	5-23
5.12	HISTOGRAMAS DE PROBABILIDADES DE 'SI ZONDA' Y 'NO OCURRENCIA' (FALSAS ALARMAS) . . . . .	5-24
5.12a	CON PP1 . . . . .	5-24
5.12b	CON PP2 . . . . .	5-24
5.13	HISTOGRAMAS DE PROBABILIDADES DE 'NO ZONDA' Y 'SI OCURRENCIA' (SORPRESAS) . . . . .	5-25

5.13a	CON PP1 . . . . .	5-25
5.13b	CON PP2 . . . . .	5-25
B.1	VARIACION DE LA ALTURA DE 500 hPa EN EL PLUMERILLO A LAS 12 UTC PARA LOS CASOS SEVEROS DEL . . . . .	B-2
B.1a	13 DE SETIEMBRE DE 1982 . . . . .	B-2
B.1b	4 DE JULIO DE 1983 . . . . .	B-2
B.1c	20 DE MAYO DE 1985 . . . . .	B-3
B.1d	27 DE MAYO DE 1986 . . . . .	B-3
B.2	CARTA DE SUPERFICIE DEL 13/9/82 A 12 UTC . . . . .	B-4
B.3	CARTA DE SUPERFICIE DEL 5/7/83 A 9 UTC . . . . .	B-5
B.4	CARTA DE SUPERFICIE DEL 26/5/86 A 18 UTC . . . . .	B-6
B.5a	CARTA DE SUPERFICIE DEL 20/5/85 A 12 UTC . . . . .	B-7
B.5b	RECORTE PERIODISTICO DEL DIA 21/5/85 . . . . .	B-8
B.6	RADIOSONDEO DEL DIA 4/7/83 A 12 UTC EN QUINTERO	B-10
B.7	RADIOSONDEO DEL DIA 4/7/83 A 12 UTC EN EL PLUMERILLO . . . . .	B-11
B.8	RADIOSONDEO DEL DIA 5/7/83 A 12 UTC DE QUINTERO	B-12
B.9	RADIOSONDEO DEL DIA 5/7/83 A 12 UTC DE EL PLUMERILLO . . . . .	B-13
B.10	CASOS SEVEROS DE . . . . .	B-14
B.10a	13 DE SETIEMBRE DE 1982 . . . . .	B-14
B.10b	4 DE JULIO DE 1983 . . . . .	B-15
B.10c	20 DE MAYO DE 1985 . . . . .	B-16
B.10d	27 DE MAYO DE 1986 . . . . .	B-17
B.11	SECUENCIAS SINOPTICAS DE LOCALIDADES CUYANAS RELACIONADAS AL CASO SEVERO DEL 27 DE MAYO DE 1986 . . . . .	B-17a
B.12	PERFIL VERTICAL DEL VIENTO (COMPONENTE ZONAL, MERIDIONAL Y VIENTO TOTAL) DEL 6/8/80 A 12 UTC EN QUINTERO . . . . .	B-25
B.13	PERFIL VERTICAL DEL VIENTO (COMPONENTE ZONAL, MERIDIONAL Y VIENTO TOTAL) DEL 6/8/80 A 12 UTC EN EL PLUMERILLO . . . . .	B-25
D.1	REPRESENTACION IDEAL DE CONDICIONES DE VIENTO ZONDA A LA LATITUD DE LA CIUDAD DE MENDOZA . . . . .	D-3

LISTA DE TABLAS

2.1	LISTADO DIARIO DE LAS VARIABLES SELECCIONADAS PARA IDENTIFICAR DIAS DE ZONDA DEL MES DE JULIO DE 1977	
	· · · · ·	2-3
2.1a	EN SAN JUAN	2-3
2.1b	EN EL PLUMERILLO	2-4
2.2	MATRIZ DE CLASIFICACION DE SAN JUAN DEL PERIODO 1/1/74 AL 20/8/77	2-5
2.3	MATRIZ DE CLASIFICACION DE SAN JUAN DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 (INCLUYENDO TODAS LAS VARIABLES)	2-6
2.4	MATRIZ DE CLASIFICACION DE SAN JUAN DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 (SIN NUBOSIDAD)	2-6
2.5	MATRIZ DE CLASIFICACION DE EL PLUMERILLO DEL PERIODO 1/1/74 AL 28/8/76	2-6
2.6	MATRIZ DE CLASIFICACION DE EL PLUMERILLO DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 (INCLUYE TODAS LAS VARIABLES)	2-6
2.7	MATRIZ DE CLASIFICACION DE EL PLUMERILLO DE LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 (SIN NUBOSIDAD)	2-7
2.8	JERARQUIZACION DE VARIABLES DISCRIMINANTES Y VALOR DEL ESTADISTICO F DE FISCHER EN SAN JUAN	2-7
2.8a	PARA EL PERIODO 1/1/74 AL 20/8/77	2-7
2.8b	PARA LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 INCLUYENDO TODAS LAS VARIABLES	2-7
2.8c	PARA LOS INVIERNOS DEL PERIODO 1974/83 EXCLUYENDO NUBOSIDAD	2-7
2.9	JERARQUIZACION DE VARIABLES DISCRIMINANTES Y VALOR DEL ESTADISTICO F DE FISCHER EN EL PLUMERILLO	2-7
2.9a	PARA EL PERIODO 1/1/74 AL 20/8/77	2-7
2.9b	PARA INVIERNOS 1974/83 (INCLUYENDO TODAS LAS VARIABLES)	2-7
2.9c	PARA INVIERNOS 1974/83 (EXCLUYENDO NUBOSIDAD)	2-7
2.10	RESULTADOS DE LA MARCHA ANUAL DEL VIENTO ZONDA EN EL LLANO CUYANO (1974-1983)	2-12
2.11	PARAMETROS ASOCIADOS AL ZONDA SEGUN LIBRETAS METEOROLOGICAS	2-12
2.11a	EN SAN JUAN	2-12
2.11b	EN EL PLUMERILLO	2-13
2.12	CASOS DE VIENTO ZONDA SEVERO Y MUY SEVERO EN EL LLANO CUYANO	2-14
2.13	FLUCTUACION DE PARAMETROS EN LA ETAPA TRANSICIONAL PREVIA AL ZONDA (SAN JUAN)	2-15
2.13a	CASO DEL 28/7/80	2-15
2.13b	CASO DEL 16/12/81	2-15
2.13c	CASO DEL 7/5/81	2-15
2.14	PARAMETROS ASOCIADOS AL ZONDA OBTENIDOS DEL ANALISIS SECUENCIAL HORARIO	2-23
2.15	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LA BUSQUEDA DE UN KJ OPTIMO PARA EL ZONDA TERMICO	2-27
3.1	DIFERENCIAS ENTRE ZONDA MODERADO Y EVENTOS SEVEROS	3-65
4.1	SONDEO MEDIO EN QUINTERO DEL TOTAL DE DIAS DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO DEL PERIODO 1974/83	4-16
4.2	SONDEO MEDIO DE QUINTERO DE LOS DIAS CON ZONDA EN EL LLANO DE CUYO (MESES DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO DEL PERIODO 1974/83)	4-16

4.3	ANOMALIAS DE ALGUNOS PARAMETROS EN QUINTERO (DIFERENCIA ENTRE EL GRUPO DE DIAS CON ZONDA MENOS EL GRUPO TOTAL DE DIAS) . . . . .	4-17
4.4	SONDEO MEDIO DE QUINTERO DE LOS DIAS CON ZONDA EN ALTURA (PERIODO 1974/83 MESES DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO) . . . . .	4-19
4.5	ANOMALIAS DE PARAMETROS DE QUINTERO (DIFERENCIA ENTRE EL GRUPO DE DIAS CON ZONDA EN ALTURA MENOS EL GRUPO TOTAL DE DIAS) . . . . .	4-19
4.6	SONDEO MEDIO DE EL PLUMERILLO DEL TOTAL DE DIAS DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO DEL PERIODO 1974/83)	4-20
4.7	SONDEO MEDIO DE EL PLUMERILLO DE LOS DIAS CON ZONDA EN EL LLANO (MESES DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO DEL PERIODO 1974/83) . . . . .	4-20
4.8	ANOMALIAS DE ALGUNOS PARAMETROS EN EL PLUMERILLO (DIFERENCIA ENTRE EL GRUPO DE DIAS CON ZONDA MENOS EL GRUPO TOTAL DE DIAS) . . . . .	4-20
4.9	SONDEO MEDIO DE EL PLUMERILLO DE LOS DIAS CON ZONDA EN ALTURA (MESES DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO, PERIODO 1974/83) . . . . .	4-22
4.10	ANOMALIAS DE PARAMETROS DE EL PLUMERILLO (DIFERENCIA ENTRE EL GRUPO DE DIAS CON ZONDA EN ALTURA MENOS EL GRUPO TOTAL DE DIAS) . . . . .	4-22
4.11	SONDEO MEDIO DE EL PLUMERILLO DE LOS DIAS SIN ZONDA (MESES DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO DEL PERIODO 1974/83) . . . . .	4-23
4.12	ANOMALIAS DE PARAMETROS ENTRE EL PLUMERILLO Y QUINTERO (DIFERENCIA DE VALORES DE QUINTERO MENOS LOS DE EL PLUMERILLO PARA EL GRUPO DE DIAS CON ZONDA) . . . . .	4-26
4.13	ANOMALIAS DE PARAMETROS ENTRE EL PLUMERILLO Y QUINTERO (DIFERENCIA DE VALORES DE QUINTERO MENOS LOS DE EL PLUMERILLO PARA EL GRUPO TOTAL DE DIAS)	4-27
5.1	SELECCION DE GRADIENTES ESPACIALES DE PRESION MEDIANTE EL ADE . . . . .	5-13
5.2	MATRIZ DE CLASIFICACION CON GRADIENTES DE PRESION . . . . .	5-13
5.3	SELECCION DE ESTACIONES CON DATOS SIGNIFICATIVOS DE PRESION . . . . .	5-14
5.4	MATRIZ DE CLASIFICACION CON DATOS SIGNIFICATIVOS DE PRESION . . . . .	5-14
5.5	SELECCION DE VARIABLES PREDICTORAS CON DATOS DE RADIOSONDEO DE EL PLUMERILLO . . . . .	5-15
5.6	MATRIZ DE CLASIFICACION DE CASOS SEGUN DATOS DE RADIOSONDEO DE EL PLUMERILLO . . . . .	5-15
5.7	SELECCION DE VARIABLES PREDICTORAS CON DATOS DE RADIOSONDEO DE QUINTERO . . . . .	5-16
5.8	MATRIZ DE CLASIFICACION CON DATOS DE RADIOSONDEO DE QUINTERO . . . . .	5-16
5.9	EJEMPLOS DE PROBABILIDADES POSTERIORES OBTENIDAS LOS DIAS 21, 22 Y 23 DE AGOSTO DE 1983 . . . . .	5-18
5.9a	APLICANDO PP1 . . . . .	5-18
5.9b	APLICANDO PP2 . . . . .	5-18
5.9c	APLICANDO PP3 . . . . .	5-18
5.10	TABLAS DE CONTIGENCIA DE VERIFICACION DE PRONOSTICOS . . . . .	5-19
5.10a	CON PP1 . . . . .	5-19
5.10b	CON PP2 . . . . .	5-19



5.10c	CON PP3 . . . . .	5-19
5.10d	CON PP4 . . . . .	5-19
5.11	VERIFICACION DE PRONOSTICOS . . . . .	5-21
5.12	TABLA DE CONTINGENCIA DE VERIFICACION DE PRONOSTICOS, USANDO PP3 CON DOS GRUPOS: ZONDA Y OTROS . . . . .	5-26
5.13	EVALUACION PROBABILISTICA DE LOS PROGRAMAS PREDICTORES . . . . .	5-27
B.1	COMIENZO, DURACION, FINALIZACION, VARIACIONES HIGROTHERMICAS, LIMITES, DURACION DEL ZONDA PULSANTE Y CONTINUO, PARA ESTACIONES DE MONTANA Y LLANO EN SITUACIONES DE ZONDA SEVERO . . . . .	B-22
B.1a	CASO DEL 13/9/82 . . . . .	B-22
B.1b	CASO DEL 4/7/83 . . . . .	B-22
B.1c	CASO DEL 20/5/85 . . . . .	B-22
B.1d	CASO DEL 27/5/86 . . . . .	B-23

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS UTILIZADOS

UTC: Hora Universal (antigua hora del Meridiano de Greenwich).

HOA: Hora Oficial Argentina.

ADE: Análisis Discriminante Escalonado.

PDV: Parte Delantera de Vasuada.

DNOA: Depresión del Noroeste Argentino.

SMN: Servicio Meteorológico Nacional.

CRICYT: Centro Regional de Investigaciones Científicas Tecnológicas.

APMA: Advección de Aire Polar Marítimo.

ILICH: Índice de Lichtenstein.

hPa: hectopascales.

mSP: metros geopotenciales.

m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar.

u: módulo de la componente zonal del viento.

v: módulo de la componente meridional del viento.

V: módulo de la velocidad del viento.

DST: desviación standard de la temperatura.

Td: Temperatura del punto de rocío.

DSTd: desviación standard de la temperatura de punto de rocío.

DEPTd: depresión del punto de rocío.

D.S.DTd: desviación standard de la depresión de punto de rocío.

T.Pot: Temperatura potencial.

T.P.Ea.: Temperatura Potencial Equivalente.

HR: Humedad Relativa.

$\Delta h$ : anomalía de altura.

$\Delta T$ : anomalía de temperatura.

$\Delta Td$ : anomalía de temperatura de punto de rocío.

$\Delta u$ : anomalía de componente zonal del viento.

$\Delta v$ : anomalía de componente meridional del viento.

$\Delta HR$ : anomalía de humedad relativa.

$\Delta \theta_e$ : anomalía de temperatura potencial equivalente.

ZA: Zonda en altura

PP1: Programa predictivo que utiliza gradientes espaciales de presión.

PP2: Programa predictivo que utiliza presión de superficie de estaciones seleccionadas.

PP3: Programa predictivo que utiliza variables seleccionadas del radiosondeo de El Plumerillo.

PP4: Programa predictivo que utiliza variables seleccionadas del radiosondeo de Quintero.

$\geq$ : mayor o igual que.

menor o igual que.

## CAPITULO 1

### ANTECEDENTES DEL VIENTO ZONDA. DATOS Y METODOLOGIA EMPLEADOS

#### 1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal planteado para el desarrollo de esta investigación fue determinar la estructura del Viento Zonda y las causas de su aparición, para obtener un diagnóstico de su comportamiento y establecer reglas de pronóstico. Los objetivos parciales propuestos consistieron en:

1. Establecer el régimen climatológico de la ocurrencia del Zonda y los parámetros meteorológicos que lo acompañan en estaciones de ubicación geográfica y alturas diferentes.
2. Analizar la estructura tridimensional del fenómeno.
3. Investigar sobre los procesos físicos involucrados en su aparición.
4. Establecer reglas de pronóstico objetivo en base a parámetros termodinámicos, sinópticos y climáticos.

#### 1.2 CONSIDERACIONES GENERALES Y ANTECEDENTES

El Viento Zonda es característico de varias zonas inmediatamente cercanas a cadenas montañosas. Debido a que los trabajos más antiguos referentes a este tipo de viento se realizaron en la región alpina, donde se lo denomina 'föhn', este término se convirtió en el nombre genérico dado a todo viento descendente cálido y seco.

Sin embargo, es también conocido por una variedad de nombres locales tales como: 'chinook' en las Montañas Rocosas de Canadá y Estados Unidos; 'Canterbury northwester' en Nueva Zelanda; 'berg wind' en Sudáfrica; 'Kachan' en Sri Lanka; 'Afsanet' en Asia Central; 'Germich' en el Mar Caspio (URSS); 'aspre' en el Macizo Central de Francia; 'halny wiatr' en Polonia; 'austru' en Rumania; 'Ijuka' en el noroeste de Yugoslavia; 'Santa Ana' en el sur de California (Estados Unidos); 'knik' en el valle de Matanuska en Alaska; 'koembang' en Cheribon y Tesal en la isla de Java (Indonesia).

Dentro de los fenómenos en mesoescala que se registran en la región de Cuyo, el viento Zonda es de características singulares, no sólo por su notable variabilidad temporal y espacial, y el comportamiento complejo de

los parámetros meteorológicos asociados (temperatura, humedad, presión, dirección, intensidad y rafagosidad del viento, nubosidad y precipitación) sino también por los diversos efectos que ocasiona.

En zonas pobladas produce daños de índole variada según la intensidad de sus ráfagas incluyendo: voladuras de techos; caídas de cables de alta tensión y árboles; interrumpe los servicios telefónicos y eléctricos y favorece la producción de incendios. Crea perjuicios en la agricultura por la fuerza del viento, por su extrema sequedad y por su alta temperatura que puede acelerar la floración de frutales al final del invierno los cuales quedan luego ante el riesgo de ser dañados por posteriores heladas.

En la alta montaña donde con suelo nevado su presencia acelera el proceso de fusión y evaporación de la nieve, provoca modificaciones en su acumulación, contribuye a la formación de aludes o avalanchas e influye en el comportamiento del ciclo hidrológico.

Son destacables los efectos biológicos que lo acompañan y que se reflejan en el estado psico-físico de los habitantes de la región tales como: alteración del ritmo cardíaco, irritabilidad, angustia, depresión, desdano. Es notable el incremento de los accidentes de tránsito, las muertes por infartos cardíacos, los actos de violencia, situaciones que no sólo se presentan cuando el Zonda aparece en superficie sino también cuando éste es detectado en estaciones de montaña o en la atmósfera libre mediante los radiosondeos.

Los resultados obtenidos en este trabajo de tesis serán de utilidad no solamente para proyectos de investigación meteorológica, sino también para los relacionados con la nivología, la glaciología, la hidrología, la bioclimatología, la medicina y aspectos industriales tales como el tendido de líneas de alta tensión.

Es un aporte para programas tales como los de control de heladas (la presencia o no de Zonda modifica la posibilidad de ocurrencia de las mismas); el de lucha antigranizo (Zonda como inhibidor o modificador de las condiciones favorables a la convección profunda); el de prevención de avalanchas (aumento del peligro de aludes ante la presencia de Zonda).

En nuestro país existen antecedentes sobre el tema en algunos trabajos específicos y en otros donde si bien el tópico central es otro, el fenómeno aparece mencionado.

Geordii, W en 1952 muestra la importancia de la doble onda diaria de la presión atmosférica en Mendoza, la cual influye en la iniciación del Zonda (y en otros fenómenos como la irrupción de aire frío y tormentas convectivas de verano).

Más tarde, en 1954 ofrece una detallada información del Zonda con los elementos disponibles en la época (estaciones meteorológicas de montaña actualmente inexistentes y mediciones efectuadas en avión).

Rolón de los Santos y Afonso, J (1977) analizan los casos de Zonda ocurridos en las ciudades de San Juan y Mendoza para el período 1967-1976 mencionando aspectos estadísticos y sinópticos del mismo.

En el Boletín Informativo del Servicio Meteorológico Nacional 1978 se mencionan diversas características del fenómeno a título de divulgación, mostrando algunos casos típicos y alertando acerca de las medidas preventivas a tomar por la población en casos de ocurrencia de Zonda.

Lichtenstein, Erich (1980) en su tesis doctoral relativa a la Depresión del Noroeste Argentino (DNOA) se refiere al efecto Zonda para establecer el grado de independencia existente entre la DNOA y la intensidad del flujo del oeste (corriente zonal).

Norte, F. en 1979 en un trabajo de identificación de situaciones sinópticas que producen granizo en Mendoza, muestra una situación particular de primavera donde al finalizar el Zonda aparecen tormentas convectivas de magnitud.

Posteriormente, en 1982 y en 1984 en trabajos relacionados a una tormenta de nieve inusual en alta montaña y otra en la precordillera y el llano respectivamente, menciona al Zonda como fenómeno identificador y asociado a esos temporales, describiendo su presencia, ráfagas y duración en diversas localidades cuyanas.

En el extranjero existe una bibliografía mucho más abundante referida al tema, especialmente en Canadá, Estados Unidos, Suiza, Alemania y Austria.

Se mencionan a continuación trabajos considerados de interés para la metodología desarrollada y otros que tratan ciertos aspectos relativos al tema que no fueron considerados en esta tesis debido a las limitaciones existentes.

Es destacable la tesis doctoral de Brinkmann, W (1973) quien realiza un estudio climático de los vientos fuertes descendentes en el área de Boulder, Colorado, Estados Unidos, analizando sus características y estableciendo que no todas las tormentas de viento responden al sistema de vientos de tipo 'chinook' sino que existen también algunos del tipo 'bora' yugoslavo, que provocan enfriamiento al pie de las montañas. Analiza además las condiciones favorables a que estos vientos se produzcan y los resultados obtenidos en ese trabajo de tesis presentan bases para el pronóstico estadístico, el modelado de estas tormentas y el análisis detallado de casos individuales.

Osmond, H.L. (1941) estudia el 'chinook' centralizando el problema en la distribución de presión y las situaciones sinópticas favorables al evento.

Ives, R.L. (1950) establece criterios para delimitar los casos de 'chinook' y no 'chinook' y la frecuencia del mismo.

Riehl, H. (1974) se refiere a la frecuencia de vientos en 10 años para cada mes, dirección, frecuencia de ráfagas máximas y establece relaciones entre la corriente de chorro (jet-stream) y el 'chinook'.

Para la definición del 'chinook' en las planicies de Alberta, Canadá se destaca el trabajo de Brinkmann, W.A.R. (1970).

Julian, L.T. y P.R. Julian (1969) y Lilly, D.K. y E.J. Zisler (1972) desarrollan trabajos narrativos de los efectos destructivos en el área de Boulder al pie de las Montañas Rocallosas (EEUU) debidos al 'chinook'.

Goldins, D.L. (1978) establece criterios de definición del 'chinook' y estudia los efectos que produce la evaporación del manto de nieve por efectos del viento.

Existen también antecedentes de trabajos de climatología histórica que detectaron casos de chinook, mediante información periodística (Whiteman, C. David, 1971).

Alaka, M.A. (1960) en la Nota Técnica No.34 de la O.M.M. (Organización Meteorológica Mundial) presenta un resumen muy completo del flujo de aire sobre montañas.

En la primera parte se consideran los resultados observacionales y de campo y se establece un catálogo de los tipos nubosos observados en diferentes lugares del mundo debido al flujo de aire sobre cadenas montañosas, destacándose varios casos de föhn o chinook. Esta parte sirvió de referencia para el catálogo nuboso regional construido como parte ilustrativa de esta tesis.

En la segunda parte se presentan las consideraciones teóricas sobre la estructura dinámica del flujo y la teoría de onda de montaña. Se mencionan modelos bi-dimensionales, de dos capas, modelos que incluyen a la estratósfera y modelos de varias capas y se hace mención especial a la teoría del rotor de sotavento.

Nicholls, M. (1973) actualiza los conocimientos desarrollados en la Nota No.34 y se introduce al conocimiento de las ondas de montaña mediante fotos de satélites y de información de radar. Se puede destacar como texto importante en donde se menciona este tipo de fenómenos a nivel mundial, al redactado por Barry, R. en 1981 donde además figura abundante bibliografía referida a diversos temas que involucran la meteorología de montaña.

Hoinka, K.F., 1985 define el concepto de 'efecto Zonda' o zona de influencia del mismo en los Alpes (föhn) y las Rocallosas (chinook) caracterizando aquellas zonas donde la temperatura, la humedad y la nubosidad presentan oscilaciones semejantes a la determinada por el Zonda (föhn, chinook) pero sin vientos.

Smith, R.B., 1982 investiga sobre la deformación del campo bórico y de la dirección y velocidad del viento debido a la influencia de las cadenas montañosas.

Kerr, R.A., 1986 en un comentario acerca de la semejanza del chinook con el agua que cae por encima de una roca plantea la complejidad de predecir cuándo un chinook será severo.

Consideraciones dinámicas respecto al flujo por encima y rodeando los Alpes figuran en Steinacker, R., 1984.

Verseiner, I. y D.K. Lilly, 1970, analizan la estructura dinámica de la onda a sotavento de las Rocallosas usando globos y aeroplanos (elementos no disponibles en el área de Cuyo para ese tipo de estudio).

Lester, P.F. y J.I. Mac Pherson, 1977, investigan las condiciones de turbulencia predominantes en zonas cercanas a la franja o pared del chinook valiéndose también de datos obtenidos con aviones.

Un modelo numérico tridimensional para el föhn en la región del Tirol austriaco fue realizado por Ignaz Verseiner en 1974, perfeccionado en 1976 y en 1978.

Klemp y Lilly, 1978, desarrollan un modelo numérico que simula el flujo del aire estable estratiforme sobre cadenas montañosas obteniendo resultados altamente satisfactorios.

Un estudio experimental sobre ondas de montaña en la tesis doctoral de Cruette, Denise, 1976, incluye las fotos de satélite como herramientas para el análisis.

Investigaciones mediante mediciones realizadas con aviones también fueron hechas en Canadá para analizar diferentes tipos de casos de chinook (Holmes, R.M. y K.D. Hase, 1971)

Lilly, D.K., 1978 también analiza casos de vientos severos a sotavento de las Rocallosas con aviones.

Las condiciones del perfil vertical del viento a barlovento de las Rocallosas con el fin de obtener elementos que puedan predecir la aparición de tormentas severas de viento a sotavento de las mismas se analizaron en Bower, J.B. y otros en 1986.

Existen antecedentes, todos ellos bastante recientes, respecto del uso del análisis discriminante (empleado en el presente trabajo) para fines meteorológicos diversos. Mc Cutchan, M., 1978, predice tipos de tiempo definidos en forma subjetiva, caracterizando el clima de California con ese método. Nkendirim, L.C., 1986, utiliza el método para separar días de chinook de los no-chinook en la provincia de Alberta (Canada). La predicción de la trayectoria de ciclones tropicales que puedan alcanzar la costa noroeste de Australia también se realizó usando análisis discriminante (Keenan, T.D., 1986).

### 1.3 CARACTERIZACION GEOGRAFICA DE LA REGION DE ESTUDIO

La región de Cuyo abarca las provincias del centro-oeste argentino (San Luis, San Juan y Mendoza). La mayor concentración de población del área está en las ciudades de Mendoza, San Juan y San Rafael, al pie de la Cordillera de Los Andes, que en estas latitudes está orientada longitudinalmente conformando una barrera perpendicular al flujo de los oeste.

La altura promedio de las cadenas oscila en 5000 metros sobre el nivel del mar, encontrándose cerros como el Aconcagua a 6959 m.s.n.m., el volcán Tupungato a 6800 m.s.n.m., el Mercedario a 6770 m.s.n.m. y el Cerro del Plata a 6100 m.s.n.m.

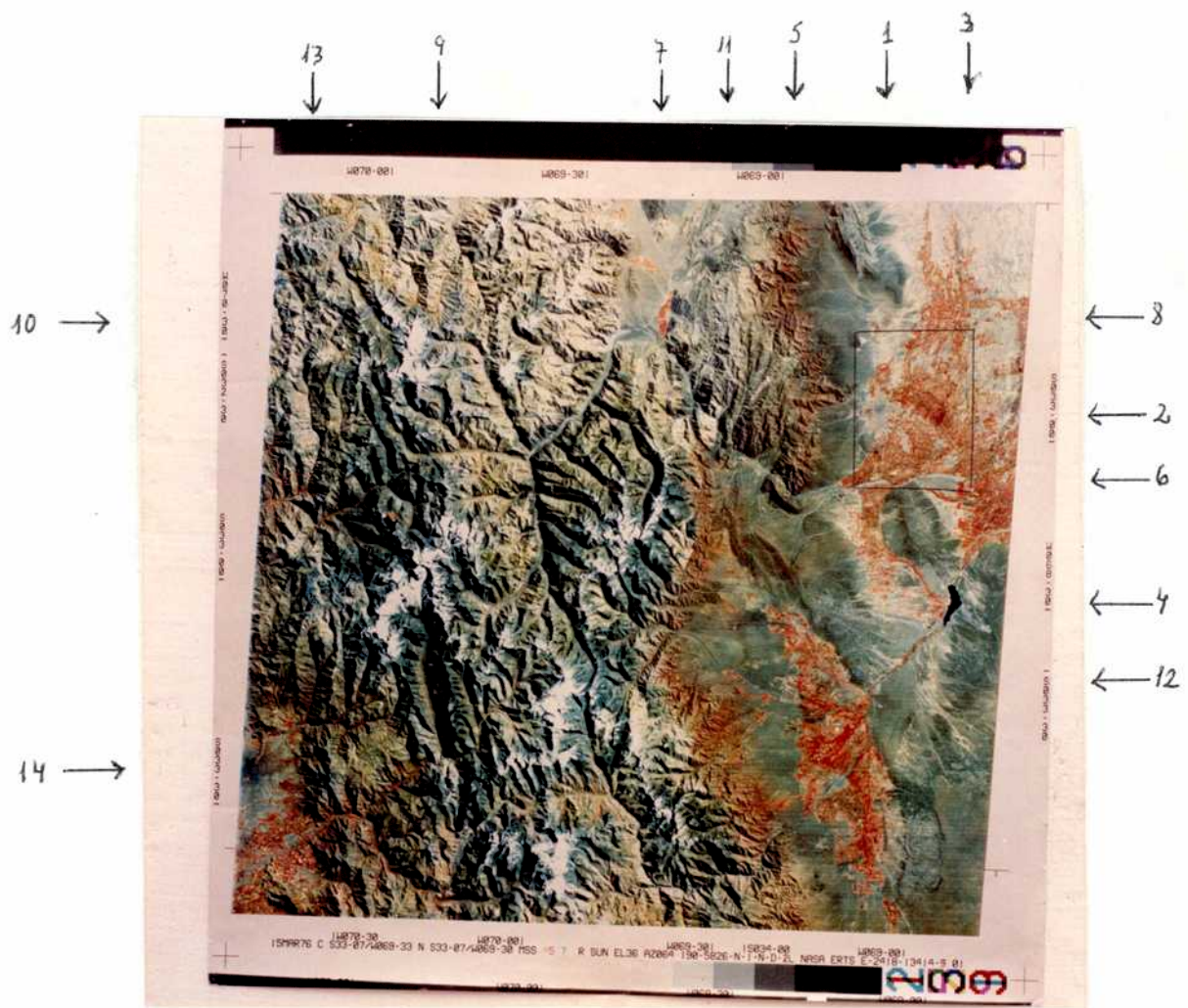
En la figura 1.1, correspondiente a una imagen satelitaria revelada con 'falso color', se observan los accidentes orográficos correspondientes a las zonas ubicadas al occidente de la ciudad de Mendoza y su conurbano pudiéndose identificar también la ciudad de Tunuyán, las localidades de Uspallata y Potrerillos y la ciudad de Santiago de Chile.

La fotografía abarca la Cordillera Central o Cordón del Plata, los valles intermontanos y la Cordillera Central o del Límite, destacándose áreas cultivadas (en color rojo) a barlovento y sotavento.

La figura 1.2 es una porción ampliada de la 1.1 indicando con mayor resolución la región del Cordón del Plata donde están ubicadas algunas estaciones del CRICYT-ME.

La figura 1.3 muestra la imagen satelitaria de la zona de la ciudad de San Juan observándose sus alrededores cultivados en el llano y el cauce del río San Juan atravesando la precordillera.

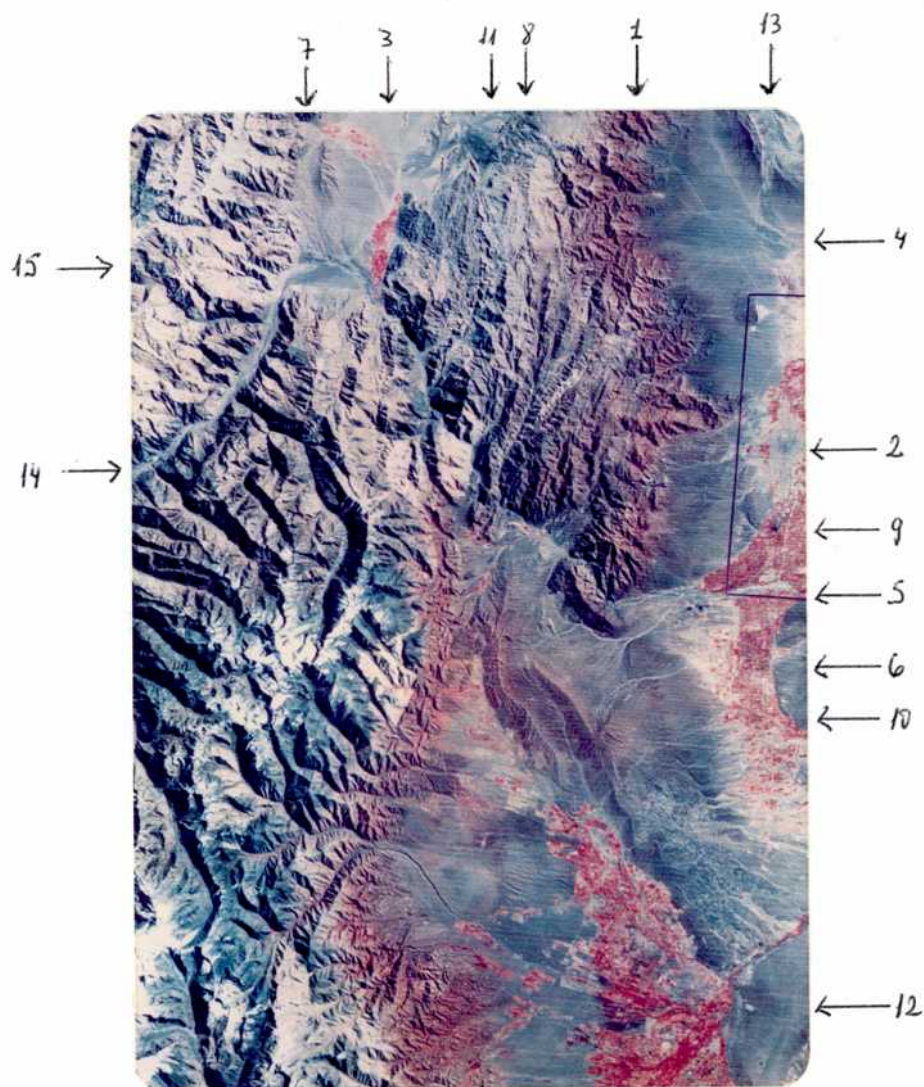




(I)

Fig. 1.1: Fotografía de imagen satelitaria de la zona noroeste de la provincia de Mendoza que incluye la ciudad capital.

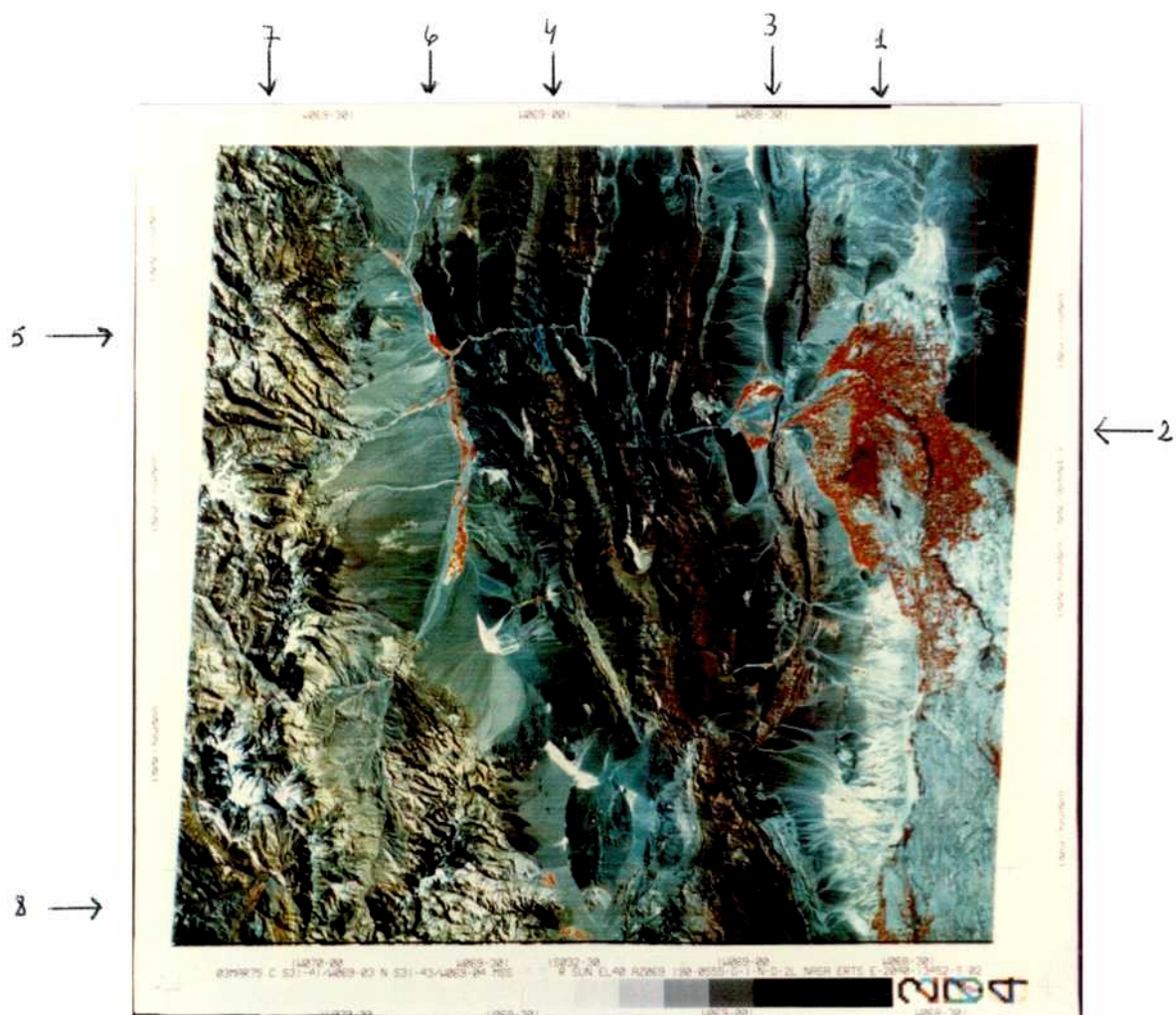
- (1,2) Ciudad de Mendoza,
- (3,4) Embalse El Carrizal,
- (5,6) Cacheuta,
- (7,8) Valle de Uspallata,
- (9,10) Cerro Aconcagua,
- (7,6) Cordón del Plata (Cordillera Frontal),
- (7,4) Vallecitos,
- (11,6) Puesto Reynoso,
- (11,12) San José de Tupungato,
- (13,14) Santiago de Chile,
- (5,2) Precordillera,
- (9,6) Cristo Redentor,
- (I) en Fig. 1.4.



(II)

Fig. 1,2: Fotografía de imágen satelitaria de la región del Cordón del Plata.

- (1,2) Precordillera.
- (3,4) Uspallata.
- (1,5) Cacheuta.
- (3,5) Cordón del Plata.
- (7,6) Cerro El Plata.
- (8,9) Potrerillos.
- (3,10) Vallecitos.
- (11,5) Puesto Reynoso.
- (11,10) Estancia Las Asuaditas.
- (1,12) Valle de Uco.
- (13,2) Ciudad de Mendoza.
- (14) Río Mendoza.
- (7,15) Río Mendoza.
- (3,2) Río Mendoza.
- (II) en Fig. 1,4.



(III)

Fig. 1.3: Fotografía de imagen satelitaria de la zona sudoeste de la provincia de San Juan que incluye ciudad capital.

- (1,2) Ciudad de San Juan.
- (3,2) Valle del Zonda.
- (4,5) Río San Juan.
- (6,2) Valle de Calingasta.
- (4,5) Precordillera.
- (7,2) Cordillera del Límite.
- (7,8) Cordillera del Límite.
- (III) en Fig. 1.4.

Puede distinguirse el valle de Calingasta que es una continuación del de Uspallata.

La figura 1.4 donde se ubican las estaciones meteorológicas regionales muestra también (zona recuadrada) la parte correspondiente a las fotografías mencionadas.

Las figuras 1.5; 1.6 y 1.7 constituyen transectas latitudinales que dan idea del perfil orográfico correspondiente a tres puntos diferentes de la región, indicándose las alturas más importantes a sotavento de la Cordillera Central.

#### 1.4 DATOS UTILIZADOS

La mayor cantidad de información utilizada para el desarrollo de este trabajo fue obtenida de estaciones pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN); especialmente de las ubicadas en la región de Cuyo, tales como Jachal, San Juan, El Plumerillo, San Martín, San Carlos y San Rafael. Con los datos consistidos de libretas meteorológicas del período comprendido entre el 1 de Enero de 1974 y el 31 de Diciembre de 1983 se seleccionaron mediante un criterio subjetivo los días con Zonda y se estableció una climatología del fenómeno.

Para el análisis exhaustivo de un caso particular también fue tenida en cuenta la información de Uspallata, Cristo Redentor, La Paz, San Luis y Villa Mercedes.

Estaciones de la red provincial pertenecientes al Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Mendoza (CRICYT-ME) denominadas Vallecitos, Puesto Reynoso, San José y Las Aguaditas y Punta de Vacas (perteneciente a Agua y Energía) permitieron el análisis del comportamiento del Zonda en montaña o "Zonda en altura" mediante criterios que analizan las variaciones de temperatura y humedad de esas zonas.

La ubicación de estas estaciones se indica en la figura 1.4 y en el Apéndice C.

Se dispuso de cartas sinópticas de superficie y altura, cortes verticales, emadramas, cartas de espesores y secuencias sinópticas horarias suministradas por la oficina central del SMN y por la oficina local de El Plumerillo.

Un archivo de datos diarios de presión atmosférica de superficie a 12 UTC de estaciones del sur de Sudamérica, islas del Atlántico Sur y Antártida (fig. 1.8) obtenidos de cartas sinópticas del SMN, de los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto del período 1974/83.

La lista identificatoria de estas estaciones también figura en el Apéndice C.

Se trabajó también con los valores diarios de los radiosondeos de Quintero y El Plumerillo para idénticos meses y período.

En lo que respecta a la calidad de los datos, se puede mencionar que en general las estaciones de montaña de la red provincial de CRICYT-ME presentaron algunos inconvenientes.

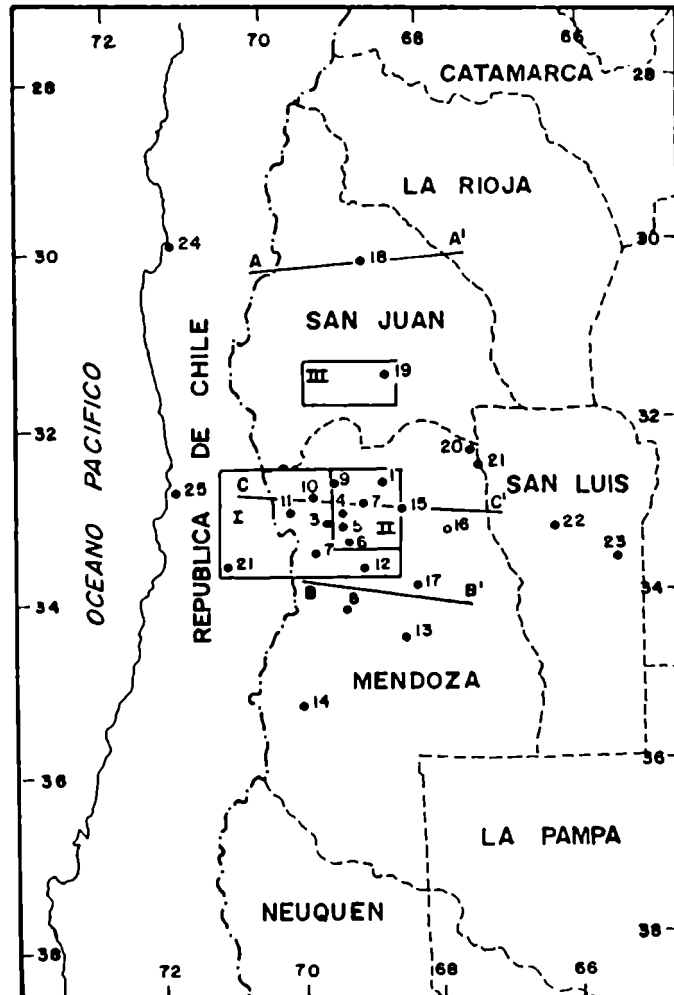


Fig. 1.4: Mapa del centro-oeste argentino y región central de Chile donde figuran las principales estaciones de la región utilizadas.

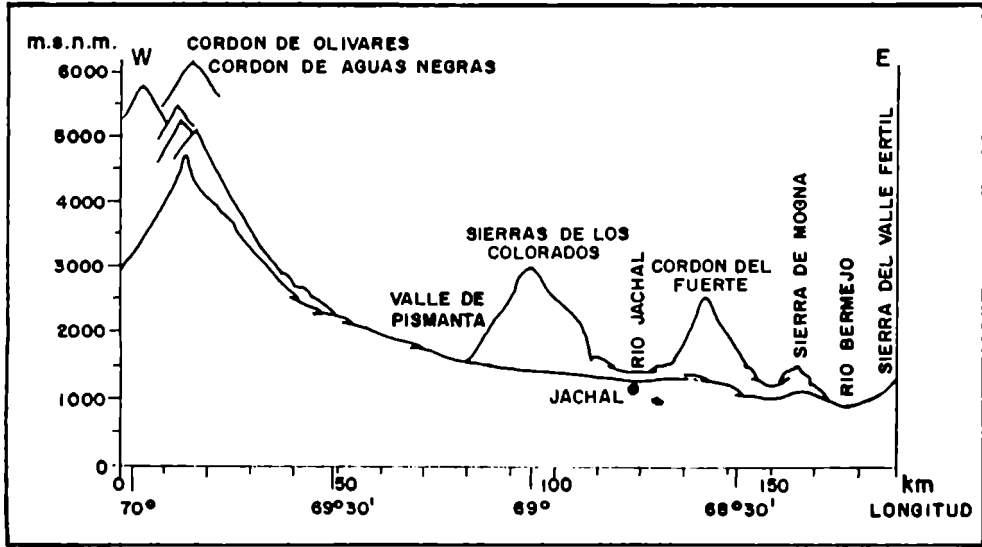


Fig. 1.5: Transecta orográfica latitudinal a 30 o 15' S.  
(A - A' en figura 1.4)

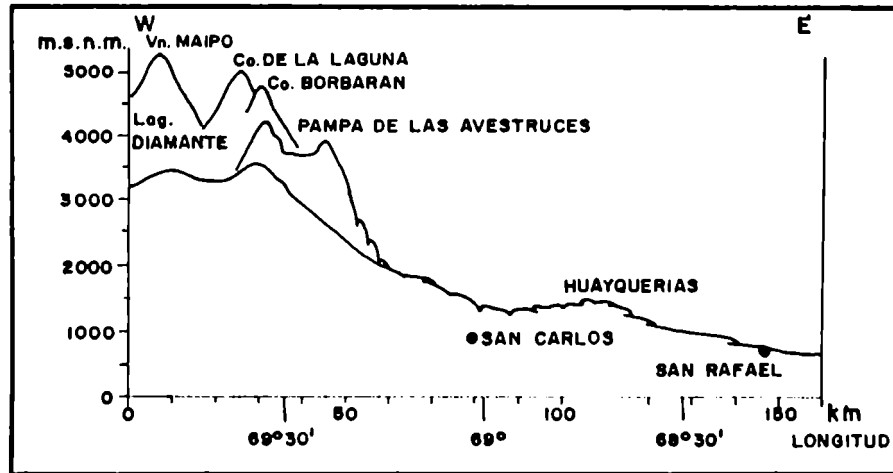


Fig. 1.6: Transecta orográfica latitudinal a 33 o 46' S.  
(B - B' en figura 1.4)

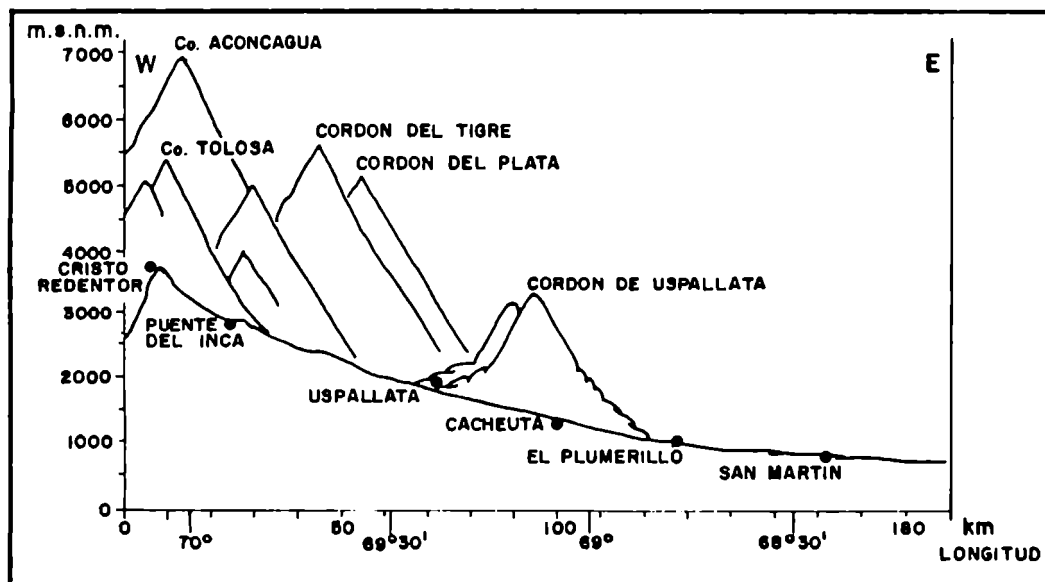


Fig. 1.71 Transecta orográfica latitudinal a 32 o 50' S.  
 (C - C' en figura 1.4)

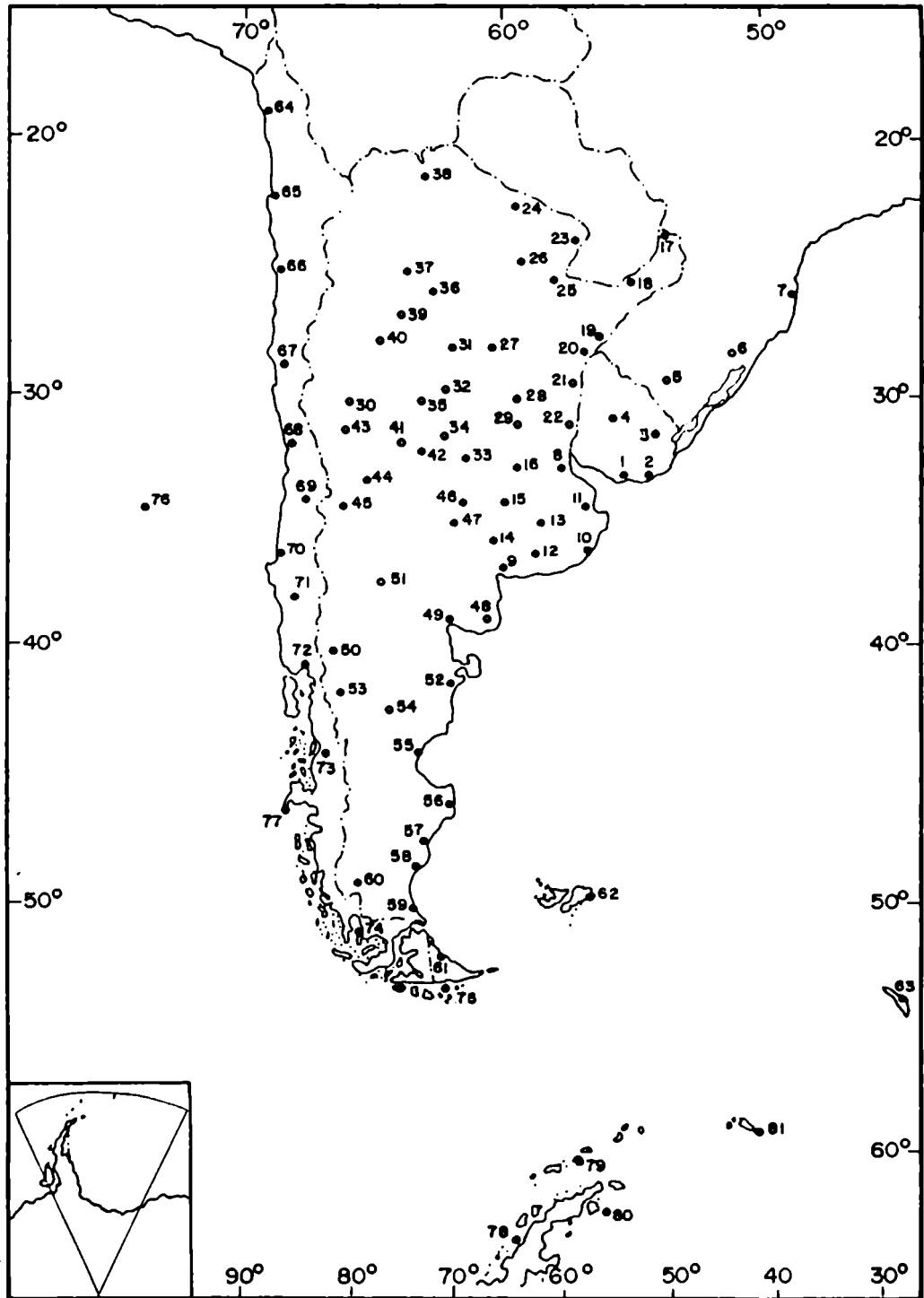


Fig. 1.8: Mapa de la ubicación de las estaciones que suministran datos diarios de presión atmosférica a las 12 UTC de los meses de mayo, junio, julio y agosto del periodo 1974/83.



Las principales dificultades encontradas fueron:

1. desfase por corrimiento en el horario de sustitución de las fajas de termohidrógrafos.
2. leve descalibración detectada en los valores de humedad relativa especialmente al comenzar el Zonda debido a la brusca variación de la misma en poco tiempo.
3. algunos errores surgieron en estaciones de montaña atendidas por puesteros.
4. parte de la información se pierde en invierno en época de nevadas intensas al bloquearse el acceso de aquellas estaciones atendidas por personal del CRICYT-ME. De las estaciones de montaña las que presentaron menos cantidad de errores de este tipo fueron Vallecitos y Puesto Reynoso.

## 1.5 METODOLOGIA

El primer paso consistió en dar una definición del día de Viento Zonda usando variables o combinaciones de las mismas que se comportan como relevantes para la identificación de la ocurrencia del fenómeno. La clasificación subjetiva se desarrolló utilizando datos diarios de libretas meteorológicas y su eficacia fue corroborada aplicando el método estadístico del análisis discriminante (Cooley and Lohnes, 1971). Se aplicó un programa que realiza la discriminación en forma escalonada, obteniéndose una jerarquización de las variables empleadas.

Con estos elementos se hizo una climatología del Zonda para las ciudades de Jachal, San Juan, El Plumerillo, San Martín y San Rafael, para el período 1974/83.

Se estudió también el comportamiento climático de los casos definidos como severos.

Una climatología más precisa se consiguió utilizando datos de secuencias sinópticas horarias de San Juan y Mendoza. Para la climatología de una estación de montaña se emplearon métodos indirectos de detección de días de Zonda, analizando el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa, eligiéndose como representativa a la estación Vallecitos. Con estos criterios se definió al 'día de Zonda en altura'.

Otro paso fue analizar exhaustivamente un caso típico de Viento Zonda en el llano. Se eligió el correspondiente al 23 de Agosto de 1983 que presentó las condiciones más frecuentes en el área contándose con datos suficientemente completos para su análisis. Se analizó la situación sinóptica de las condiciones previas al evento, las que predominaron durante su desarrollo y las condiciones posteriores.

Se analizaron los datos de los radiosondeos y la distribución vertical del viento a barlovento y sotavento de la Cordillera de Los Andes para idéntico período.

Se construyeron cortes verticales correspondientes a esos días. Se obtuvo un diagnóstico espacio-temporal de mesoescala en una transecta latitudinal y mediante el análisis sinóptico secuencial.

Un tercer paso fue realizar un diagnóstico de las condiciones sinópticas y aerológicas medias, asociadas al Zonda.

Con los datos de presión atmosférica de superficie a 12 UTC de las estaciones de la figura 1.8, se confeccionó el campo bórico medio total de los meses de invierno (1974/83); el campo bórico medio de los días de Zonda, del día anterior, de dos días antes, de los días con Zonda en altura, de los días sin Zonda y el campo isalobórico medio del día posterior.

El análisis aerológico medio se hizo promediando los datos diarios de radiosondeos de Quintero y El Plumerillo obteniéndose tablas de anomalías resultantes de comparar los sondeos medios totales con los de días de Zonda y de Zonda en altura (a barlovento y sotavento de Los Andes).

Para establecer el grado de significancia de algunos parámetros se aplicó el test estadístico 't' de Student (Haber, A. y R.P. Runyon, 1973; Brooks, C.E.P. y N. Carruthers, 1953).

El último paso consistió en el ensayo de métodos de pronóstico de Zonda considerándose diferentes procedimientos, desde los empíricos a partir de la observación visual de la nubosidad y su evolución hasta los de tipo computacional que permiten anunciar el evento con pocos datos y en poco tiempo.

Para la predicción empírica se recurrió a la toma de fotografías en distintas etapas de desarrollo del evento.

Con los resultados sinópticos y aerológicos medios y los obtenidos al analizar el caso particular exhaustivamente estudiado, también se obtuvieron elementos predictivos significativos.

Finalmente, mediante el análisis discriminante, dividiendo la serie de datos en cuatro grupos de días diferentes, se obtuvieron predictores computacionales a partir de valores de presión atmosférica de 81 estaciones meteorológicas de 12 UTC y de datos de radiosondeos y aerológicos de Quintero y El Plumerillo a esa misma hora.

Estos programas predictores fueron evaluados considerando pronósticos probabilísticos y determinísticos.

## 1.6 MEDIOS UTILIZADOS

Se dispuso de un equipo DIGITAL VAX 11/780 de tres megabytes de memoria física con dos unidades de cinta, dos unidades de disco, dos de diskettes, impresora de línea y varias terminales.

También de máquinas de escribir, fotocopiadoras, servicio de movilidad para trabajo de campo y servicio de documentación para el material bibliográfico.

## CAPITULO 2

### CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DEL VIENTO ZONDA EN LA REGION DE CUYO

#### 2.1 INTRODUCCION

Con el fin de establecer una climatología del Viento Zonda para algunas estaciones meteorológicas de la región de Cuyo, se utilizaron distintos métodos según la disponibilidad de datos, la bondad de los mismos y la longitud de los registros.

Se consideraron las variaciones que el fenómeno determina en diferentes parámetros meteorológicos.

En particular, para las estaciones del llano, se tuvo en cuenta que allí el fenómeno se comporta como un viento caliente, seco y con una dirección que suele presentar una componente del Oeste o una componente del Norte preponderante, es decir con un rango entre los 250 y los 050 grados.

La identificación de casos de Zonda en estaciones de montaña se realizó aplicando métodos indirectos.

Los diferentes pasos realizados abarcaron:

- i) Una climatología de las estaciones del llano. Se realizó a partir de la identificación de los casos de Viento Zonda con datos diarios de superficie de libretas meteorológicas.
- ii) Un análisis climático más detallado con la detección de los casos mediante la información obtenida de las secuencias sinópticas horarias de superficie.
- iii) Una climatología de Viento Zonda para una estación de montaña con datos horarios de termohigrógrafos.
- iv) Una caracterización climática de los días de Viento Zonda en altura teniendo en cuenta el análisis de estaciones de montaña.

## 2.2 CLIMATOLOGIA DEL VIENTO ZONDA EN ESTACIONES DEL LLANO

### 2.2.1 Identificación de casos a partir de datos diarios de libretas meteorológicas

Con los datos de libretas meteorológicas de las estaciones de superficie pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional se seleccionaron en forma subjetiva los días de ocurrencia de Viento Zonda en las estaciones Jachal, San Juan, El Plumerillo, San Carlos, San Martín y San Rafael, ubicadas inmediatamente o a algunos kilómetros al Este de la precordillera o Cordillera de Los Andes (fig. 1.1). El período considerado es el comprendido entre el 1 de Enero de 1974 al 31 de Diciembre de 1983. Este método de detección de 'días con Zonda' se desarrolló a partir de la consideración de un conjunto de variables o combinación de las mismas consideradas a priori como relevantes para identificar la ocurrencia del Viento Zonda.

#### 2.2.1.1 El problema de la definición -

Las variables seleccionadas y sus valores umbrales para ser consideradas como indicativas de la posible presencia de Viento Zonda son:

- Tx1: Diferencia entre la temperatura máxima del día y la temperatura máxima media del mes, mayor o igual que 4oC.
- Tx2: Diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura de punto de rocío mínima del mismo día mayor o igual que 20oC.
- Ht: Hora de la temperatura de punto de rocío mínima del día, cuando se produce a las 15 o 20 HOA.
- Pmin: Presión atmosférica (en hPa) al nivel de la estación mínima del día, menor que la media del mes.
- Hp: Hora de la presión mínima si se produce a las 3 o 9 HOA.
- DDFFF: Dirección y velocidad del viento máximo, así como Vie3, Vie9, Vie15 y Vie21, viento de las 3, 9, 15 y 21 HOA respectivamente mayor o igual que 10 nudos y dirección entre los 250 y 050 grados.
- Nubosidad: Nubosidad baja, media y alta expresada como Nubo3, Nubo9, Nubo15 y Nubo21 de las 3, 9, 15 y 21 HOA. Ausencia de nubes bajas, nubes medias del tipo altocúmulos lenticular y/o altocúmulos y altostratos, pertenecientes típicamente a la 'pared' o 'franja' del Zonda.
- Fenómenos significativos: Viento fuerte y tempestad de polvo.

Nota: Se tomó como unidad al día comprendido entre las 9 HOA y las 9 HOA del día siguiente.

Se definió como 'día de Viento Zonda' cuando por lo menos tres de las variables acusaban valores dentro del rango establecido o superando el valor umbral.

La nubosidad, especialmente la media del grupo 4 (altocúmulos lenticulares) y la media del grupo 7 (altocúmulos y altostratos) pudiendo pertenecer a la 'franja o pared del Zonda' (ver Apéndice II), y la mención de tormenta de polvo o viento fuerte como fenómeno significativo, sirvió de ayuda para corroborar la definición del 'día de Zonda' en los casos en que las otras variables presentaban valores dudosos. Se encontraron algunas dificultades según la estación meteorológica considerada y también debido a otros fenómenos en escala sinóptica o mesoescala.

Por ejemplo, en los casos de pasajes de frente frío anteriores a la hora habitual de registro de la temperatura máxima podría ocurrir que si bien el Viento Zonda había estado presente, el viento máximo registrado en el día no estaba dentro del rango de dirección establecido y los valores positivos de Tx1 eran bajos o directamente negativos.

En particular, en San Juan, en verano, se pudo observar casos con vientos máximos u horarios soplando de direcciones comprendidas en el rango de Zonda correspondiendo a ráfagas debidas a tormentas convectivas cercanas denotadas por la información de fenómenos significativos o presencia de cúmulo nimbus.

Las tablas 2.1a y 2.1b muestran ejemplos referidos a este método de detección.

TABLA 2.1: LISTADO DIARIO DE LAS VARIABLES SELECCIONADAS PARA IDENTIFICAR DÍAS DE ZONDA DEL MES DE JULIO DE 1977.

TABLA 2.1a EN SAN JUAN

DIA	Tx1	Tx2	Ht	Pmin	Hp	DDFFF	Vie.3	Vie.9	Vie15	Vie21	Nubo.3	Nubo.9	Nubo15	Nubo21	Fenomenos significativos
01	10.7	32.8	20	935.7	20	32036	18010	00000	05006	32013	000000	004100	004100	004200	Nebli VtoFu Hela
02	11.3	37.2	08	933.7	02	29042	05003	27021	18030	18018	000000	006100	006100	000000	VtoFu
03	-2.5	22.5	20	949.9	20	18014	18005	00000	09004	23004	000000	006200	006100	003100	Hela Hela2
04	-3.0	21.1	08	945.5	14	16012	00000	00000	00000	18003	000000	004300	004200	006500	Hela Hela2
05	-3.8	20.1	08	946.9	14	16019	00000	18004	18012	00000	006700	006600	006300	000057	Hela
06	0.4	23.0	08	944.5	14	05024	36002	00000	05014	00000	000000	000000	000000	000000	VtoFu Hela Hela2
07	1.3	25.4	02	944.3	20	18012	00000	00000	00000	00000	000000	000000	006200	000000	Nebli Hela Hela2
08	3.6	27.2	02	939.9	20	05012	05007	00000	36003	27005	000000	006400	004100	000000	Hela
09	-8.9	13.2	02	939.3	20	20019	14005	18004	18013	18004	000000	004200	----68	----68	Niebl Nebli Hela Hela2
10	2.0	25.9	20	931.2	14	32031	05002	36005	18013	32014	004200	004200	006352	006300	Niebl Nebli VtoFu Hela Hela2
11	3.4	19.4	20	935.6	02	29022	23007	00000	18011	00000	006300	006300	006300	000000	
12	-2.6	13.6	20	942.3	02	20021	18010	00000	18012	00000	000000	000057	000085	000000	
13	-2.1	18.0	08	938.1	14	18017	36004	00000	18005	18005	000000	004200	004100	004100	Hela
14	-2.5	13.5	20	939.9	14	20029	18022	00000	00000	18006	000055	006100	006500	000000	Nieb2 VtoFu
15	-3.5	18.8	08	949.7	02	18019	14008	14006	00000	00000	007700	000000	006300	006500	
16	0.3	24.4	08	945.3	20	02015	36006	18002	36014	23004	000000	006700	006700	006300	
17	0.9	25.3	08	948.8	02	18011	00000	05004	00000	00000	000000	006200	000000	000000	Hela Hela2
18	3.5	23.6	08	947.9	20	20015	00000	36004	05005	00000	000000	004300	004600	004200	Hela
19	3.1	24.9	08	940.1	20	20013	00000	00000	00000	18008	004100	004100	006600	006300	Hela Hela2
20	0.0	20.3	08	935.1	14	16015	00000	00000	18007	00000	000000	006400	006700	006600	Nebli Hela
21	4.5	21.0	08	933.2	02	36038	05007	23006	18010	00000	007200	007700	007493	006700	VtoFu
22	11.4	34.7	14	926.1	14	34057	00000	36011	36049	18025	006500	006200	004500	----68	VtoFu ItaPo
23	0.8	16.4	20	938.4	02	18025	18020	09011	18015	18006	----68	000000	006200	000000	Llv Llvz VtoFu
24	5.2	20.3	08	937.2	20	02023	00000	36008	05014	27004	000000	006300	004700	004500	Halo
25	16.5	42.4	14	932.3	14	29040	36021	36017	32030	18019	004100	004300	004300	000000	VtoFu
26	7.9	32.3	20	935.3	14	29041	18008	23003	00000	27015	004400	004200	004111	000000	VtoFu
27	2.6	21.1	08	942.1	20	18038	18023	00000	18003	23006	000000	000000	004100	000000	VtoFu
28	12.7	37.7	20	935.1	14	02022	36010	36006	36017	32007	000000	000000	000000	000000	
29	4.0	20.4	20	939.9	02	18036	18024	18012	18023	18019	000000	000087	000011	000011	VtoFu
30	-1.7	19.3	14	947.2	02	16019	18011	18010	18005	00000	000055	000056	000011	000000	
31	0.7	24.0	02	940.4	14	18018	32005	36005	09005	18018	000000	000000	000000	000000	Hela

En este ejemplo quedan establecidos como días de Viento Zonda el 1, 2, 10, 21, 22, 24, 25, 26 y 28 de Julio de 1977.

El viento máximo que figura el día 11 corresponde al día 10 meteorológico de acuerdo a lo establecido, habiendose registrado entre las 00 y las 9 HOA del día 11 calendario.

TABLA 2.1b EN EL PLUMERILLO

DIA	Tx1	Tx2	Ht	Pmin	Hr	DDFF	Vie.3	Vie.9	Vie.15	Vie.21	Nubo.3	Nubo.9	Nubo.15	Nubo.21	Fenomenos significativos
01	3.3	16.9	08	923.5	20	32023	00000	00000	00000	23003	000052	004151	004100	510051	Nebli Bruma
02	6.6	30.1	08	919.9	08	32049	36008	32019	18019	18003	004121	634100	217422	--2454	VtoFu
03	-3.0	20.5	14	939.1	20	05012	00000	00000	05003	00000	----58	000053	000000	000000	
04	-2.2	18.1	02	934.3	14	14002	00000	00000	00000	00000	000000	214100	520000	510000	Nebli Bruma Hela Hela2
05	-1.3	20.2	14	935.1	14	23004	00000	00000	23002	00000	000000	517151	530000	000000	Nebli Bruma Hela Hela2
06	0.3	21.1	08	932.3	14	00000	00000	00000	00000	00000	000000	110000	000000	000000	Nebli Bruma Hela Hela2
07	2.2	21.8	02	932.9	20	00000	00000	00000	00000	00000	000000	000000	624200	000000	Nebli Hela Hela2
08	2.0	22.5	08	923.1	20	05010	00000	00000	00000	05010	650000	650000	324122	310000	Nebli Bruma Hela Hela2
09	-3.0	12.4	08	927.3	20	05005	00000	00000	00000	00000	350000	626262	534161	004200	Nebli Nebli Bruma
10	6.3	31.4	14	918.1	14	32041	00000	00000	32039	14029	000067	----68	217151	217151	Nebli VtoFu Hela ItaPo
11	2.5	16.3	14	932.9	14	32002	00000	00000	00000	00000	240052	004253	554100	000000	Nebli
12	0.0	14.1	14	932.4	08	23012	00000	23004	23010	00000	000054	003453	000056	000000	Nebli
13	-1.4	16.6	08	926.7	14	18025	00000	00000	00000	00000	000000	004200	004121	004181	Bruma VtoFu Hela Hela2
14	-1.5	16.8	14	928.0	14	18016	00000	00000	00000	00000	000057	000052	005551	000000	
15	-3.2	20.9	02	938.7	02	05005	23004	00000	05005	00000	000055	000000	660000	000000	Hela Hela2
16	-2.4	18.4	08	934.5	20	00000	00000	00000	00000	00000	005200	007442	664200	244100	Nebli Bruma Hela Hela2
17	2.3	23.6	08	936.1	02	09003	00000	00000	00000	00000	000000	518100	000000	000000	Bruma Hela Hela2
18	2.0	20.3	08	937.3	20	00000	00000	00000	00000	00000	000000	224100	660000	650000	Nebli Bruma
19	1.6	19.1	08	929.2	20	07002	00000	00000	05002	00000	640000	658100	230000	530000	Bruma
20	2.4	18.5	08	924.1	20	09003	00000	27003	09003	00000	000000	007353	627221	620053	Nebli Bruma
21	2.2	14.8	02	921.9	08	23004	00000	00000	18003	00000	----58	002453	002353	002354	Llv Nebli Bruma
22	-2.4	8.1	08	916.8	14	23014	00000	00000	23005	05003	--2355	002363	--2464	--2474	Llv Bruma
23	0.0	11.0	08	926.3	02	05005	00000	00000	05002	00000	000061	000081	000081	214181	Llv Nebli
24	1.3	13.7	08	925.2	20	00000	00000	00000	00000	00000	220082	630000	644100	007300	Nebli
25	10.7	27.8	08	922.3	14	32039	32006	36009	18016	23002	007300	944221	926300	644200	VtoFu
26	3.4	30.6	20	924.1	14	18010	23002	23004	05003	36002	627252	924222	000083	000052	
27	2.3	17.6	08	930.3	20	23002	00000	00000	00000	00000	000052	000042	630000	220000	Bruma
28	9.6	36.8	14	922.9	14	36029	00000	00000	36027	32005	210000	000022	000022	000081	Nebli VtoFu Hela Hela2
29	6.1	21.9	20	929.2	08	14049	23016	23010	23010	00000	000000	000052	000082	000056	VtoFu
30	-1.0	17.1	14	935.1	14	23010	00000	00000	05002	00000	----68	006284	000082	000051	
31	0.0	19.6	08	929.5	14	09003	00000	00000	09003	00000	000000	000051	006321	007200	2/8 Hela Hela2

En este ejemplo se designan como días de Viento Zonda al 1, 2, 10, 25 y 28 de Julio de 1977.

### 2.2.1.2 El método del Análisis Discriminante Escalonado (ADE) -

Para corroborar la eficacia de esta forma de identificación de casos, se aplicó el método estadístico del Análisis Discriminante Escalonado que además permitió establecer una jerarquía en las variables utilizadas respecto a su mayor o menor incidencia en la discriminación de días de Viento Zonda con los de días de ausencia del mismo ("días de no-Zonda").

El método se aplicó solamente a las ciudades de San Juan y Mendoza en base a los datos obtenidos diariamente y consignados en las libretas meteorológicas del período 1974/83.

La extensión del registro y la cantidad de variables consideradas (se utilizaron hasta 41 variables) determinó que se excedieran los límites de tolerancia para un correcto funcionamiento del programa. Para una discriminación entre 2 grupos el programa acepta el uso de hasta 50 variables con un máximo de 1330 registros. Para salvar este inconveniente, se dividió el período de 10 años en períodos de 1220 días cada uno y se realizó una primera prueba.

Una segunda prueba se efectuó tomando solamente los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, que en esta tesis son considerados como meses de invierno, desde 1974 a 1983. Esta forma de selección de registro tampoco excedió el límite impuesto.

En el Apéndice A se explicitan los resultados que se obtienen de la aplicación del ADE.

Para San Juan con la primera prueba, para el periodo continuo del 1/1/74 al 20/8/77 se obtuvo la matriz de clasificación que figura en la Tabla 2.2.

En la segunda prueba (meses de invierno, periodo 1974/83) se obtuvo la matriz de clasificación indicada en Tabla 2.3.

Aplicando nuevamente ADE para idéntico lapso que en la segunda prueba pero eliminando la nubosidad del análisis se obtuvo la matriz de clasificación de Tabla 2.4.

Se observó que los porcentajes correctos son semejantes si bien el número de casos es superior. Esto significa que el programa elimina muchos casos debido a una mayor frecuencia de datos faltantes de nubosidad en las libretas meteorológicas. Además puede verse por los porcentajes correctos, que la nubosidad no es una variable significativa en San Juan.

En la estación El Plumerillo, considerando el periodo continuo comprendido entre el 1/1/74 y el 28/8/77 se obtiene la matriz de clasificación que figura en Tabla 2.5.

Para los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto 1974/83 la matriz de clasificación aparece en Tabla 2.6. Si se elimina la nubosidad para idéntico periodo se obtiene la que figura en Tabla 2.7. En este caso a diferencia de San Juan, las variables de nubosidad parecen tener mas peso en la discriminación.

En términos generales, tanto para San Juan como para El Plumerillo, en cualquiera de las pruebas efectuadas, los porcentajes correctos de clasificación son elevados.

En vista de ello se resolvió mantener el patrón establecido según el método explicado en 2.2.1.1 para el estudio de la climatología del Viento Zonda.

TABLA 2.2 MATRIZ DE CLASIFICACION DE SAN JUAN (1/1/74 AL 20/8/77)

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS DENTRO DE GRUPO	
		NO-ZONDAS	ZONDAS
NO-ZONDAS	99.1	1106	10
ZONDAS	93.5	2	29
TOTAL	99.0	1108	39

TABLA 2.3 MATRIZ DE CLASIFICACION DE SAN JUAN  
MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO 1974/83

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS DENTRO DE GRUPO	
		NO-ZONDAS	ZONDAS
NO-ZONDAS	98.2	928	17
ZONDAS	74.2	17	49
TOTAL	96.6	945	66

TABLA 2.4 MATRIZ DE CLASIFICACION DE SAN JUAN  
MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO 1974/83 (SIN NUBOSIDAD)

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS DENTRO DE GRUPO	
		NO-ZONDAS	ZONDAS
NO-ZONDAS	98.5	1100	17
ZONDAS	75.4	17	52
TOTAL	97.2	1147	69

TABLA 2.5 MATRIZ DE CLASIFICACION DE EL PLUMERILLO  
1/1/74 AL 28/8/76

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS DENTRO DE GRUPO	
		NO-ZONDAS	ZONDAS
NO-ZONDAS	99.4	1106	10
ZONDAS	93.5	2	29
TOTAL	99.0	1108	39

TABLA 2.6 MATRIZ DE CLASIFICACION DE EL PLUMERILLO  
MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO 1974/83

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS DENTRO DE GRUPO	
		NO-ZONDAS	ZONDAS
NO-ZONDAS	92.6	778	62
ZONDAS	67.3	18	37
TOTAL	91.1	796	99



TABLA 2.7 MATRIZ DE CLASIFICACION DE EL PLUMERILLO  
MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO 1974/83 (SIN NUBOSIDAD)

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS DENTRO DE GRUPO	
		NO-ZONDAS	ZONDAS
NO-ZONDAS	89.8	1009	115
ZONDAS	60.9	27	42
TOTAL	88.1	1034	157

Con el programa ADE se seleccionaron, para las distintas pruebas realizadas, las variables que mejor discriminan a los días de Viento Zonda de los No-Zonda dando además una jerarquización de las mismas.

Los resultados obtenidos para San Juan y El Plumerillo son los siguientes :

TABLA 2.8 JERARQUIZACION DE VARIABLES DISCRIMINANTES Y VALOR DEL ESTADISTICO F DE FISCHER EN SAN JUAN

2.8a PERIODO 1/1/74 al 20/8/77		2.8b Meses de Mayo, Junio, Julio Agosto 1974/83		2.8c Meses de Mayo, Junio, Julio Agosto 1974/83 (sin nubosidad)	
NOMBRE	VALOR DE F	NOMBRE	VALOR DE F	NOMBRE	VALOR DE F
Tx2	196.6878	Tx1	365.0499	Tx1	291.0455
Umax	101.0610	Umax	156.6179	Umax	141.0068
Vmax	226.4289	Vmax	164.2643	Vmax	182.5458
U21	40.7270	Pmin	51.7215	Pmin	65.4964
V21	34.0327	Tx2	55.0709	Tdmin	31.1700
Pmin	38.6568	GNB15	23.3368	Hp	23.9296
Hp	39.5301	FNM15	29.4025	Ht	18.6360
Ht	28.1469	Hp	16.2289	V21	6.2887
FNM3	17.1095	Ht	13.4191	U15	6.0595
U9	15.3869	V9	7.6674	V3	4.3774
V3	11.4692	GNB9	5.1212		
GNB9	13.7914	FNM9	8.4335		
GNM15	9.1882				

TABLA 2.9 EN EL PLUMERILLO

2.9a Periodo 1/1/74 al 20/8/77		2.9b Mayo, Junio, Julio Agosto 1974/83		2.9c Mayo, Junio, Julio Agosto 1974/83 sin nubosidad	
NOMBRE	VALOR DE F	NOMBRE	VALOR DE F	NOMBRE	VALOR DE F
V21	149.8205	Tx1	103.3952	Tx1	124.2120
Tx2	77.6030	Tdmin	36.4001	Umax	49.6830
Ht	33.1586	GNB9	34.5411	Vmax	30.5166
Pmin	29.7095	GNM21	31.9210	Tdmin	12.2406
U15	24.4391	Vmax	17.9890	Pmin	9.4514
Vmax	21.5995	Umax	19.2838	V15	5.6270
FNB9	14.1595	FNB21	18.9144	U3	4.5256
Umax	11.2870	FNM2	14.9420	V9	4.3382
V3	11.1980	V3	10.5850		
FNM3	9.2944	U21	12.1452		
Hp	8.0831	FNB3	6.6883		
FNB2	8.6217	GNB3	4.6484		
V15	8.7954	Pmin	4.4725		
GNM15	8.3926				

El viento máximo y los valores de viento a las 3, 9, 15 y 21 HOA aparecen descompuestos en sus componentes zonales (valores U) y meridionales (valores V). Las variables referidas a la nubosidad están separadas en forma y grupo de pertenencia. Ejemplo: GNB15 significa 'grupo de nubes bajas a las 15 HOA'; FNM9 significa 'forma de nubes medias a las 9 HOA'.

Se observan diferencias en cuanto a la jerarquización de las variables según el período y/o la localidad considerada.

Para el período continuo, tanto en San Juan como en El Plumerillo el indicador del secamiento Tx2 está en primer o segundo término ya que el lapso analizado abarca todas las estaciones del año incluyendo calentamientos debidos a factores ajenos al Zonda.

En cambio para el período restringido a los meses de invierno el indicador de calentamiento Tx1 es el más importante, siendo esta una época donde las olas de calor están ausentes o son poco frecuentes.

Las componentes zonal y meridional del viento máximo son significativas en San Juan pero no en El Plumerillo salvo cuando se exceptúa la nubosidad para la discriminación.

En invierno, en El Plumerillo, que la variable GNB9 aparezca en tercer término implica que el efecto de subsidencia provocado por el Zonda impidiendo la formación de nubes bajas es un factor discriminatorio importante.

Además, la presencia de nubosidad media vespertina (GNM21) en particular los altocúmulos lenticulares y los altostratos de la 'pared del Zonda' son también elementos discriminatorios relevantes.

En cambio, en San Juan las nubes no desempeñan un rol significativo. En invierno, la primer variable que aparece lo hace en un octavo lugar de orden y no hay diferencias notables entre los porcentajes correctos de clasificación incluyendo o no a la nubosidad.

## 2.2.2 Resultados climatológicos obtenidos

### 2.2.2.1 Resumen general -

La identificación de días de Zonda con el método mencionado en 2.2.1 permitió establecer la marcha anual de los casos de Viento Zonda registrados en las ciudades de Jachal, San Juan, El Plumerillo, San Martín, San Carlos y San Rafael para el período 1974/83.

Las figuras 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 indican la distribución de la frecuencia mensual en esas localidades, indicándose la de casos severos y muy severos.

En la Tabla 2.10 se sintetizan los resultados obtenidos mediante este análisis subjetivo.

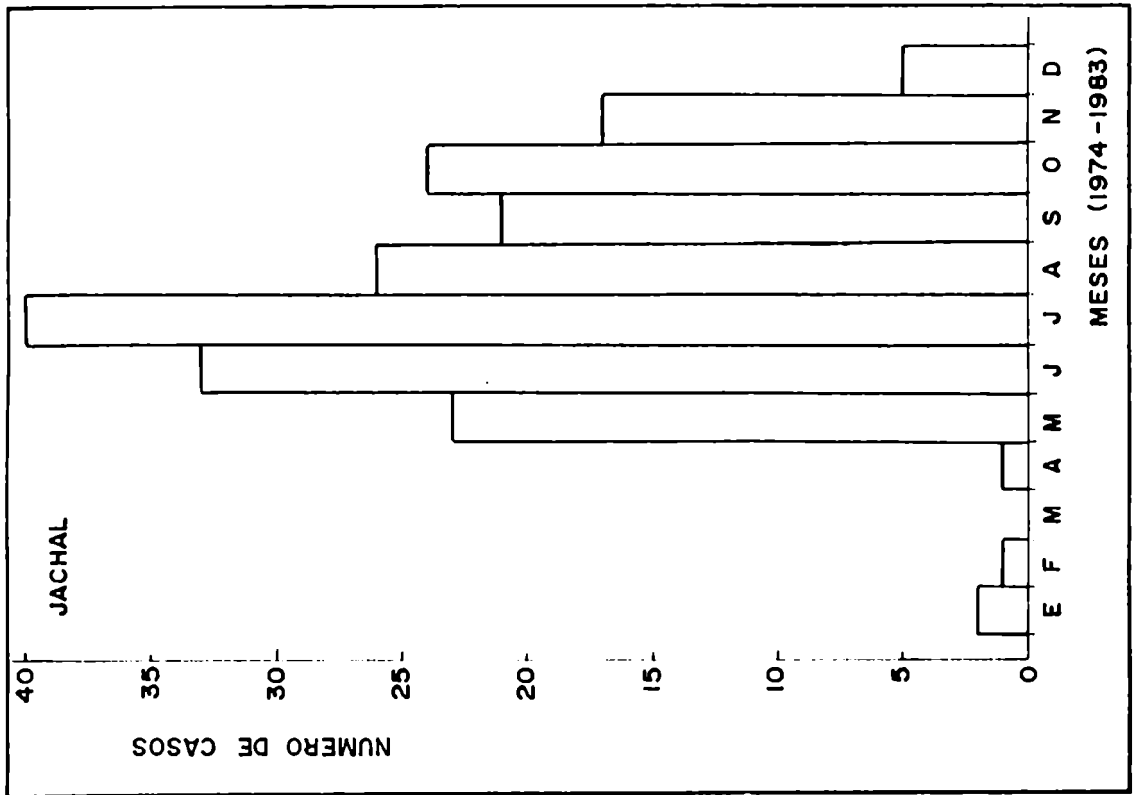


Fig. 2.1: Distribución de frecuencia en Jachal.

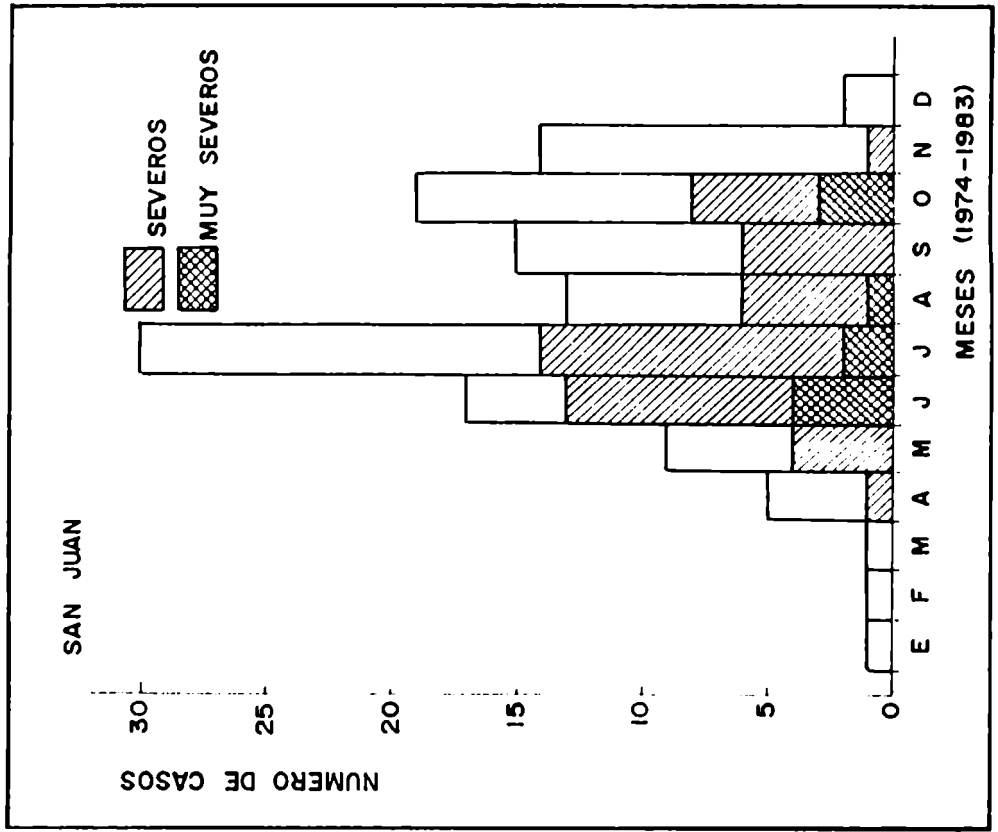


Fig. 2.2: Distribución de frecuencia en San Juan.

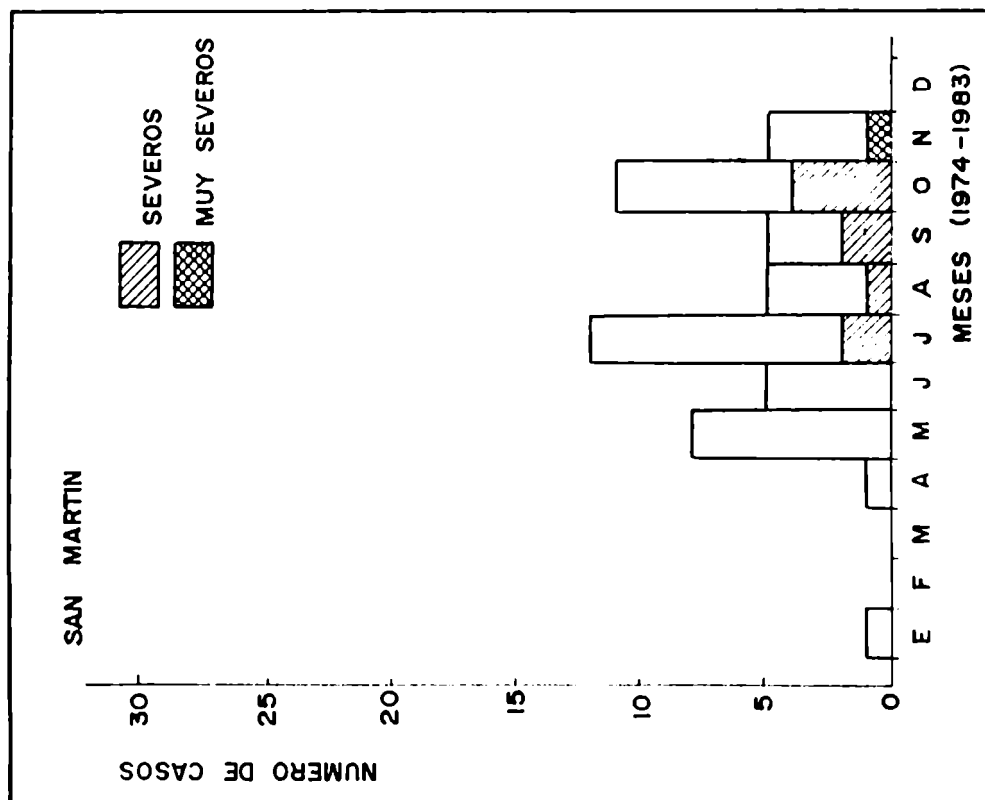


Fig. 2.4: Distribución de frecuencia en San Martín.

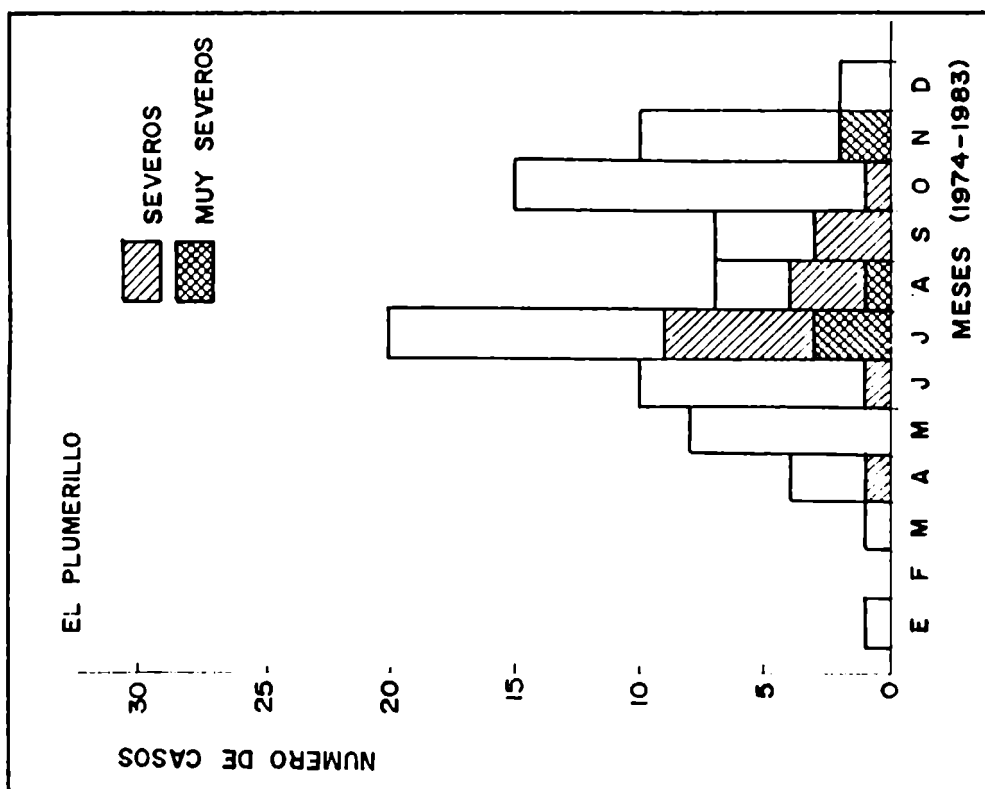


Fig. 2.3: Distribución de frecuencia en El Plumerillo.

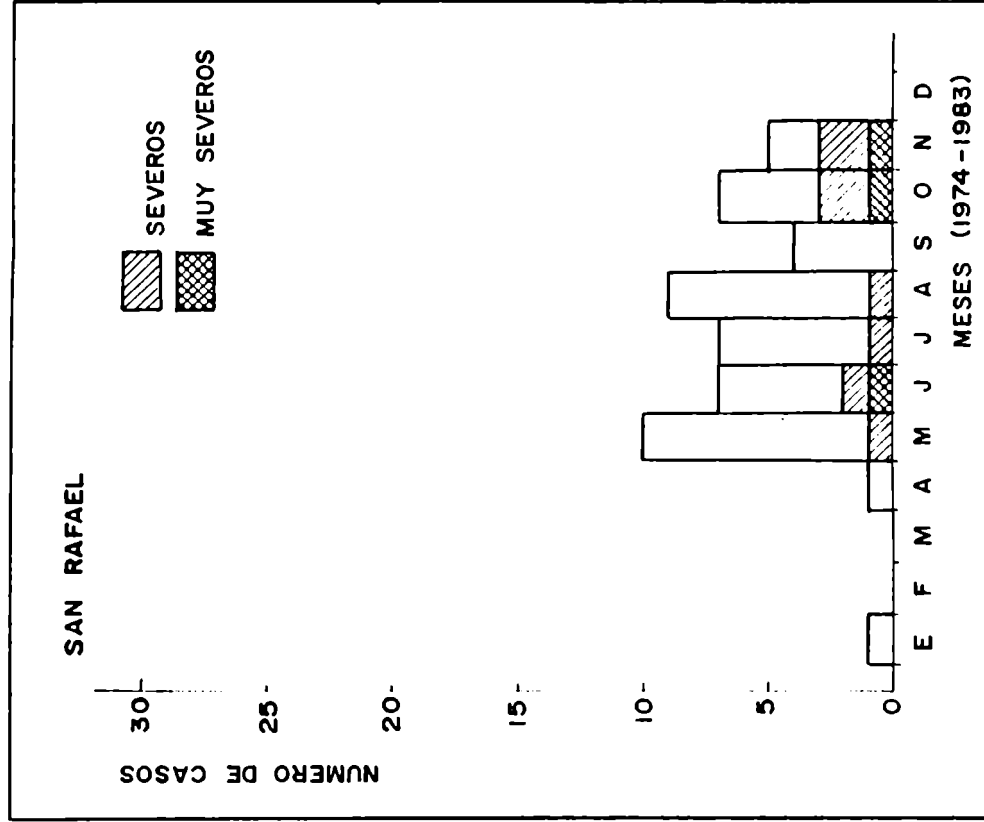


Fig. 2.6: Distribución de frecuencia en San Rafael.

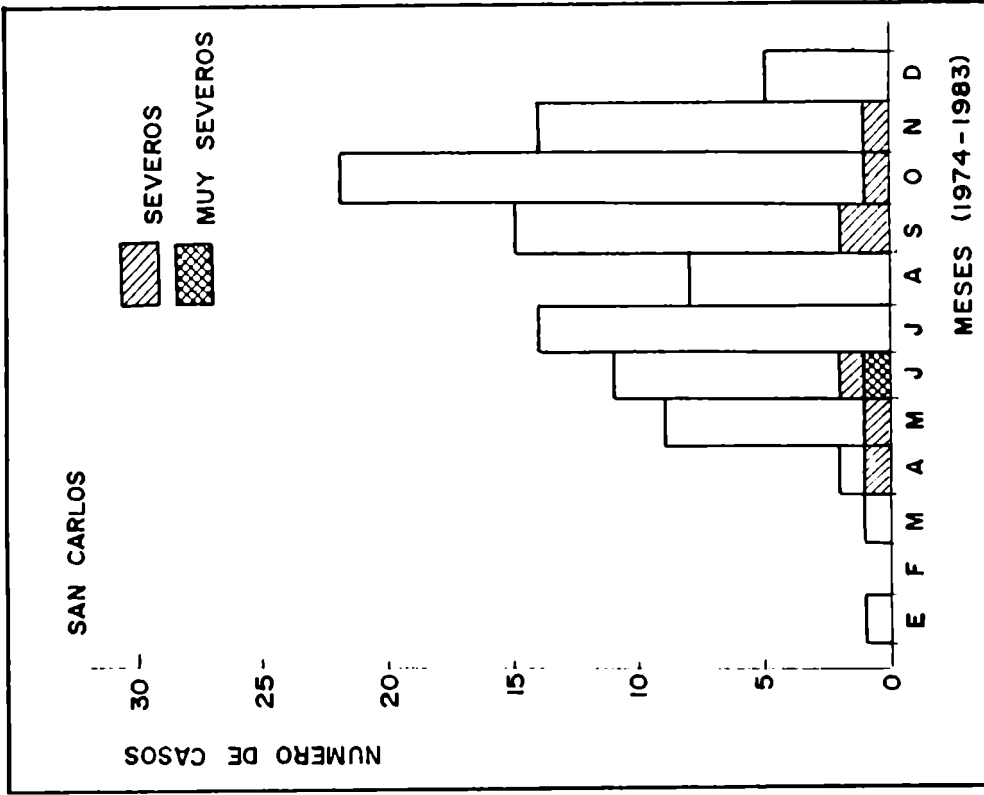


Fig. 2.5: Distribución de frecuencia en San Carlos.

TABLA 2.10 RESULTADOS DE LA MARCHA ANUAL DEL VIENTO ZONDA EN EL LLANO CUYANO (1974 - 1983)

	JACHAL	SAN JUAN	EL PLUMERILLO	SAN CARLOS	SAN RAFAEL	SAN MARTIN
NUMERO TOTAL DE CASOS	195	127	86	111	51	50
FRECUENCIA ANUAL MEDIA (dias)	17.7	11.5	7.8	10	4.6	4.3
PORCENTAJE EN EL AÑO (%)	4.8	3.1	2.1	2.7	1.2	1.1
MESES DE MAXIMA FRECUENCIA	JUNIO	JULIO Y OCT.	JULIO Y OCT.	SEPT Y OCT.	MAYO-AGOSTO	JULIO-OCT.
PERIODO MAYO-NOVIEMBRE	94.8%	81%	89.3%	83.7%	96%	96.2%
PERIODO MAYO-AGOSTO	62%	54.3%	52.3%	37.8%	64.7%	56.6%

La frecuencia de días de Viento Zonda en las estaciones del llano es relativamente baja, así en El Plumerillo la probabilidad climatológica que en un día se presente el Viento Zonda es de 2.1% si bien las ráfagas máximas que puede alcanzar supera los 120 Km/h.

Se nota además que incide la altura de la estación, aumentando la frecuencia con la elevación, así Jachal tiene una probabilidad de 4,8% mientras que San Martin tiene 1,1%, influyendo en esto también la distancia de la cordillera al lugar.

Finalmente un factor de importancia es el relieve de la cordillera y de la precordillera y de la situación relativa a ella del lugar considerado (ver por ejemplo la ubicación y altitud de Vallecitos en el Capítulo 1 y/o en el Apéndice C).

En las tablas 2.11a y 2.11b se sintetiza la información estadística de San Juan y El Plumerillo de los valores de las variables meteorológicas bajo la influencia del Viento Zonda.

TABLA 2.11 PARAMETROS ASOCIADOS AL ZONDA SEGUN LIBRETAS METEOROLOGICAS

VARIABLE	TABLA 2.11a EN SAN JUAN												
	MAX	MIN	VARIAN.	D.EST.	MEDIA	MEDIANA	MODA	SESGO	KURTOSIS	Q1	Q3	S-	S+
Tx1	16.5	-0.5	14.5	3.8	7.6	7.1	8.4	0.24	-0.64	5.1	10.4	3.8	11.4
Tx2	52.2	17.8	59.8	7.7	32.8	32.3	28.8	0.33	-0.50	27.2	37.8	25.1	40.6
Pmin	945.8	924.8	13.1	3.6	933.6	933.3	932.0	0.05	0.35	931.6	936.1	930.0	937.2
Tmax	43.3	17.3	25.6	5.1	29.8	29.5	30.8	0.32	-0.16	25.8	33.3	24.7	34.8
Tdmin	11.7	-22.9	37.1	6.1	-3.1	-3.8	-7.1	-0.01	0.13	-7.1	1.1	-9.1	3.0
Vmax	53.6	-49.0	555.3	23.6	10.6	16.0	0.0	-0.73	-0.34	0.0	25.4	-12.9	34.2
Umax	31.0	-52.6	268.3	16.4	-13.2	-14.0	0.0	0.02	-0.46	-25.1	0.0	-29.5	3.2
FNM15	7.0	0.0	6.3	2.5	3.8	4.0	4.0	-0.50	-1.20	0.0	6.0	1.3	6.3
GNB15	4.0	0.0	0.7	0.8	0.4	0.0	0.0	2.55	6.46	0.0	0.0	-0.4	1.2
GNA9	5.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	11.27	126.04	0.0	0.0	-0.4	0.5
FNH9	7.0	0.0	6.5	2.5	3.5	4.0	4.0	-0.38	-1.37	0.0	6.0	1.0	6.1
GNB9	7.0	0.0	1.0	1.0	0.2	0.0	0.0	5.08	26.94	0.0	0.0	-0.76	1.2

Presión atmosférica media anual a nivel de la estación : 941.4 hPa

Temperatura máxima media anual : 25.8 oC

TABLA 2.11b EN EL PLUMERILLO

VARIABLE	MAX	MIN	VARIAN.	D. EST.	MEDIA	MEDIANA	MODA	SESGO	KURTOSIS	Q1	Q3	S-	S+
Tx1	18.0	-3.6	13.8	3.7	5.9	6.2	--	0.10	0.12	3.0	8.6	2.2	9.6
Tx2	50.4	16.9	75.1	8.7	30.9	29.6	23.9	0.46	-0.67	23.9	36.9	22.2	39.5
Tmax	40.0	15.4	26.0	5.1	26.8	26.5	--	0.33	-0.15	23.5	29.7	21.7	31.9
Vmax	64.0	-36.6	293.0	17.1	14.6	15.3	0.0	-0.05	1.04	0.0	24.5	-2.5	31.7
Umax	55.0	-37.3	245.9	15.7	-5.9	-6.4	0.0	0.68	1.43	-16.1	0.0	-21.5	9.8
Pmin	936.0	915.2	19.4	4.4	922.7	922.1	--	0.88	0.82	919.8	925.2	918.3	927.1
Tdmin	6.2	-16.8	36.8	6.1	-4.1	-3.7	-1.1	-0.30	-0.94	-8.5	1.0	-10.2	1.9
GNB9	8.0	0.0	3.6	1.9	1.4	1.0	0.0	1.91	3.48	0.0	2.0	-0.5	3.3
GNM21	7.0	0.0	2.2	1.5	1.4	1.0	0.0	0.99	0.89	0.0	2.0	-0.1	2.9
FNB21	9.0	0.0	8.8	3.0	2.7	2.0	0.0	0.67	-0.91	0.0	5.0	-0.2	5.7
GNM3	8.0	0.0	2.6	1.6	0.8	0.0	0.0	2.35	5.76	0.0	1.0	-0.8	2.4
V3	20.0	-9.2	19.5	4.4	0.6	0.0	0.0	2.42	7.50	0.0	0.0	-3.8	5.0
U21	18.6	-19.9	35.3	5.9	-2.5	0.0	0.0	-0.19	1.82	-5.1	0.0	-8.4	3.4
FNB3	9.0	0.0	7.3	2.7	1.4	0.0	0.0	1.68	1.26	0.0	0.0	-1.4	4.1
GNB3	8.0	0.0	2.5	1.6	0.7	0.0	0.0	2.87	8.23	0.0	0.0	-0.9	2.2

Presión atmosférica media anual a nivel de la estación ; 932.9 hPa  
 Temperatura máxima media anual ; 24.0 oC

Q1 y Q3 son el primer y tercer cuartil respectivamente.

S- y S+ representan las cantidades : valor de la media menos la desviación estándar y valor de la media mas la desviación estándar, respectivamente.

#### 2.2.2.2 Los casos de Viento Zonda severo -

Teniendo en cuenta que se han observado ráfagas máximas de 30 m/s en San Juan y de 34 m/s en El Plumerillo, a partir de la observación empírica del autor se decidió considerar como 'severa' a la tormenta de Viento Zonda que registrara, según los datos diarios de libreta, valores de viento máximo mayores o iguales a 15 m/s equivalente a la categoría 7 de la escala Beaufort (viento muy fuerte) y como 'muy severa' cuando el viento máximo supera los 25 m/s, categoría 10 de la misma escala (temporal muy fuerte). La persistencia de ráfagas que superan esos valores determinan daños e inconvenientes de diversa índole tanto en zonas urbanas como en rurales (ver Capítulo 1).

El criterio establecido para esta clasificación difiere en cuanto a los límites con categorizaciones semejantes realizadas por otros autores en otras regiones del planeta. Por ejemplo, Brinkmann, W.R., 1971, define como un caso de viento descendente fuerte cuando las velocidades máximas en la mesora de la región de Boulder, Colorado, E.E.U.U. exceden los 22 m/s con al menos una de las estaciones registrando ráfagas mayores que 32 m/s (condiciones de viento huracanado).

En cambio para la región de Cuyo el criterio utilizado es puntual tomándose sólo una estación en particular para establecer los límites (El Plumerillo en este caso).

TABLA 2.12 CASOS DE VIENTO ZONDA SEVERO Y MUY SEVERO EN EL LLANO CUYANO  
CASOS SEVEROS

	SAN JUAN	EL PLUMERILLO	SAN CARLOS	SAN RAFAEL	SAN MARTIN
NUMERO DE CASOS	49	18	6	9	10
MES MAS FRECUENTE	Julio	Julio	Julio-Sept	Oct-Nov	Octubre
PORCENTAJE RESPECTO DEL TOTAL	38%	20%	5.4%	17.6%	18.8%
CASOS MUY SEVEROS					
NUMERO DE CASOS	10	7	2	3	1
PORCENTAJE RESPECTO DEL TOTAL	7.8%	8%	1.8%	5.8%	1.8%

La distribución de frecuencia anual de Viento Zonda severos y muy severos no supera el 8% del total de los casos en ninguna estación.

#### 2.2.2.3 Identificación de casos a partir de datos horarios de secuencias sinópticas -

Esta parte de la climatología del Viento Zonda se realizó con una muestra de casos mucho menor que la utilizada con libretas meteorológicas debido a la menor disponibilidad de información de secuencias horarias. Se aplicó a las localidades de San Juan, El Plumerillo y San Rafael para los años 1976, 77, 80, 81, 82 y 83 analizándose 56, 40 y 23 días de Viento Zonda respectivamente.

El análisis exhaustivo de las secuencias sinópticas horarias permitió establecer las horas de comienzo y finalización del evento, los valores medios de temperatura, punto de rocío y presión atmosférica durante su desarrollo, las ráfagas máximas alcanzadas y las variaciones previas de la presión respecto de la hora de comienzo.

##### 2.2.2.3.1 En San Juan -

Este método permite obtener resultados mas detallados del comportamiento del fenómeno. Para el caso particular de esta estación, la determinación del comienzo del Zonda no es suficientemente clara dado que no todas las variables identificatorias se comportan al unísono.

En general, se inicia con viento del primer cuadrante acompañado de un secamiento y un calentamiento paulatino, confundiendo con el Viento Norte de origen atlántico.

Esta situación transicional puede durar varias horas hasta que el viento gira al cuarto cuadrante no aumentando necesariamente su velocidad. Simultáneamente se intensifica el efecto hidrotérmico.

En las tablas 2.13a, 2.13b y 2.13c se ejemplifican tres eventos de Viento Zonda correspondientes a tres épocas del año bien diferentes observándose esa etapa transicional en todos ellos.



TABLA 2.13 FLUCTUACION DE PARAMETROS EN LA ETAPA TRANSICIONAL PREVIA AL ZONDA (SAN JUAN)

		TABLA 2.13a CASO DEL 28 DE JULIO DE 1980										
HOA		22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
VIENTO	C	C	010/10	020/20	020/10	360/05	360/05	360/10	020/20	070/10	360/15	
TEMPERATURA		6	8	10	10	15	16	20	17	18	13	18
PUNTO DE ROCIO		1	1	0	2	-4	-4	-6	-4	-5	-3	-7
HUMEDAD RELATIVA		70	61	49	57	25	23	18	22	19	31	15
PRESION (hPa)		1005.2	1004.2	1003.6	1003.6	1001.6	1001.5	1000.7	1001.2	999.9	1001.9	1001.4

HOA		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
VIENTO		070/20	340/40	270/20	290/15	320/20	320/20	300/20	270/20	250/20	120/20
TEMPERATURA		17	23	25	27	27	28	28	28	28	23
PUNTO DE ROCIO		-5	-9	-5	-1	0	0	-4	-2	-4	0
HUMEDAD RELATIVA		20	10	12	15	16	16	11	13	11	21
PRESION (hPa)		1001.0	999.0	998.8	998.4	999.5	997.9	997.8	997.8	998.3	1000.3

		TABLA 2.13b CASO DEL 16 DE DICIEMBRE DE 1981									
HOA		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
VIENTO	C	C	C	360/05	360/08	020/15	090/05	090/08	050/05	070/05	
TEMPERATURA		19	24	27	30	34	36	38	40	42	42
PUNTO DE ROCIO		10	10	10	13	10	9	9	6	3	3
HUMEDAD RELATIVA		56	41	38	35	23	20	18	11	7	7
PRESION (hPa)		998.4	998.2	998.7	997.0	996.3	994.7	993.9	992.0	990.6	989.9

HOA		17	18	19	20	21	22	23	24	1	2
VIENTO		050/05	360/02	340/10	250/10	290/05	320/15	320/15	340/10	140/10	200/30
TEMPERATURA		43	43	41	39	33	34	34	34	29	25
PUNTO DE ROCIO		4	3	-4	-6	-2	-8	-8	-8	-6	15
HUMEDAD RELATIVA		7	5	4	3	10	5	5	5	9	54
PRESION (hPa)		987.0	988.6	988.6	990.4	991.6	992.7	994.2	995.2	998.0	1001.5

		TABLA 2.13c CASO DEL 7 DE MAYO DE 1981										
HOA		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
VIENTO	C	340/05	340/05	340/05	340/10	340/10	340/10	020/25	020/20	020/25	020/10	020/10
TEMPERATURA		9	10	10	12	15	18	24	26	28	31	31
PUNTO DE ROCIO		6	4	6	7	8	10	10	10	10	10	10
HUMEDAD RELATIVA		81	66	76	71	62	59	41	36	32	27	27
PRESION (hPa)		1003.2	1004.2	1004.2	1004.2	1004.2	1003.4	1001.4	1000.4	998.6	997.4	996.0

HOA		17	18	19	20	21	22	23	24	1	2
VIENTO		020/15	360/10	340/15	340/10	300/10	360/05	020/10	020/10	360/05	160/20
TEMPERATURA		33	33	31	28	28	26	19	21	21	16
PUNTO DE ROCIO		6	5	-3	-4	-6	-4	-5	-3	-3	2
HUMEDAD RELATIVA		13	17	10	11	10	12	18	19	19	38
PRESION (hPa)		996.2	996.6	997.8	997.8	998.8	1000.0	1001.2	1000.8	1000.8	1000.8

La presión atmosférica expresada corresponde al nivel del mar.

La Fig. 2,7 muestra la frecuencia de las horas del día con Zonda; con etapa transicional y cuando se registraron cualquiera de las dos etapas indistintamente. Se observa que la mayor frecuencia de casos con situaciones intermedias o de transición ocurre al mediodía, mientras que la mayor frecuencia de Viento Zonda bien definido sucede al promediar la tarde.

En cambio los valores mínimos corresponden a la hora de salida del sol para el Viento Zonda y en las últimas de la tarde para la etapa transicional.

La fig. 2,8 indica la frecuencia de horas de comienzo de Viento Zonda, de la etapa transicional y de cualquiera de estas dos situaciones indistintamente.

Hay una tendencia a que la transición se inicie antes del mediodía y que el Viento Zonda bien definido empiece en las primeras horas de la tarde.

Son poco propicias para el comienzo de cualquiera de estas situaciones las primeras horas de la noche y las últimas de la madrugada.

Respecto de la finalización del fenómeno, ésta no presenta etapas confusas. Se considera terminado el evento cuando se registra un período de calma y la posterior aparición de viento del sudoeste, sur o sudeste; o directamente su rotación de una hora a la hora siguiente de observación. La figura 2,9 indica una tendencia a que el Zonda finalice entre las 18 y las 19 HOA.

En la fig. 2,10 se grafica la frecuencia de duración del Zonda presentando un máximo en las seis horas de duración, no siendo frecuentes los eventos de mas de diez horas. El lapso estudiado contiene un caso extremo excepcional de 46 horas de duración correspondiente a los días 8, 9 y 10 de Mayo de 1982. Las figs. 2,11 y 2,12 indican respectivamente la frecuencia de la dirección y la velocidad de las ráfagas máximas del Zonda.

#### 2.2.2.3.2 En Mendoza (Aeropuerto El Plumerillo) -

En esta estación los períodos transicionales se presentan muy esporádicamente.

En general el comienzo del fenómeno es claro y definido.

La fig. 2,13 indica que la mayor frecuencia de horas de Zonda corresponde a la tarde entre las 16 HOA y las 21 HOA. Las horas de menor frecuencia son las cercanas a las de la salida del sol.

De las figs. 2,14 y 2,15 se deduce que es mas frecuente el comienzo del Zonda en las primeras horas de la tarde y su finalización a la medianoche.

En cuanto a la cantidad de horas que puede soplar la mayor frecuencia media es de cuatro horas de duración (fig. 2,10).

En el período mencionado hubo un evento correspondiente al 17 de Agosto de 1976 que duró 20 horas.

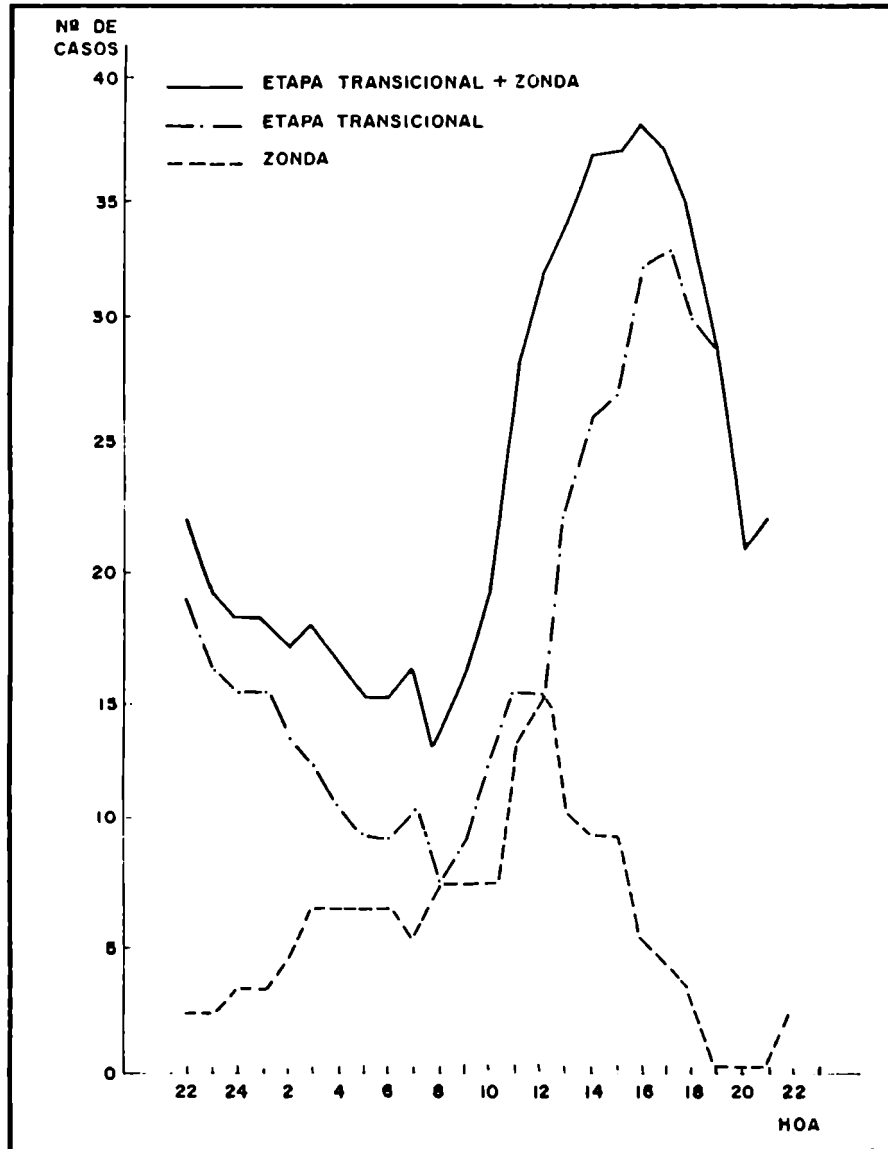


Fig. 2.7: Distribución de frecuencia de las horas del día con Zonda con etapa transicional o con cualquiera de ambas etapas, en San Juan.

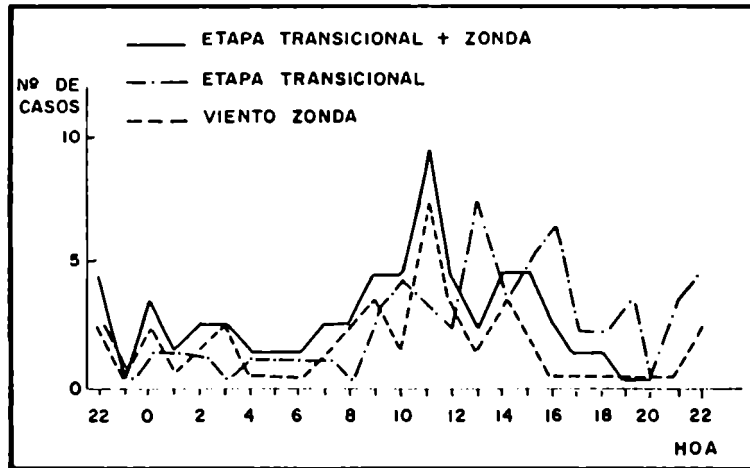


Fig. 2.8: Distribución de frecuencia de la hora de comienzo de Viento Zonda, de la etapa transicional o de cualquiera de ambas etapas, en San Juan.

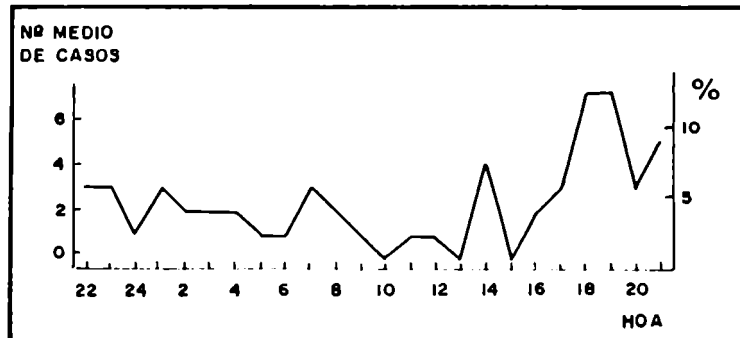


Fig. 2.9: Distribución de frecuencia de la hora de finalización del Viento Zonda, en San Juan.

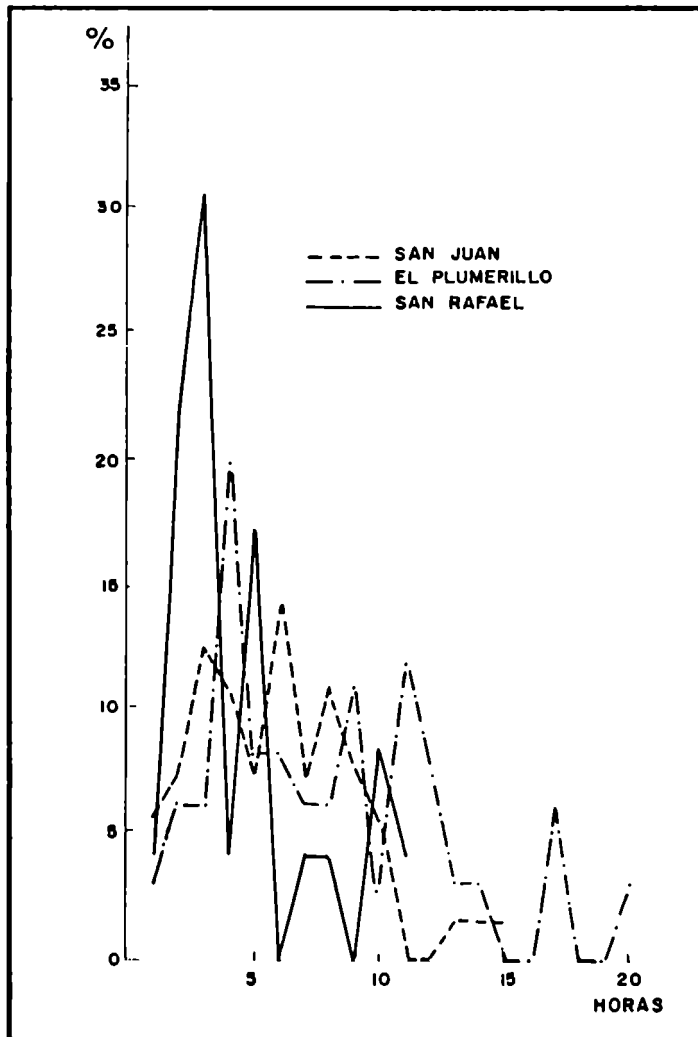


Fig. 2.10: Cantidad de horas de duración del Zonda (en porcentajes) para San Juan, El Plumerillo y San Rafael.

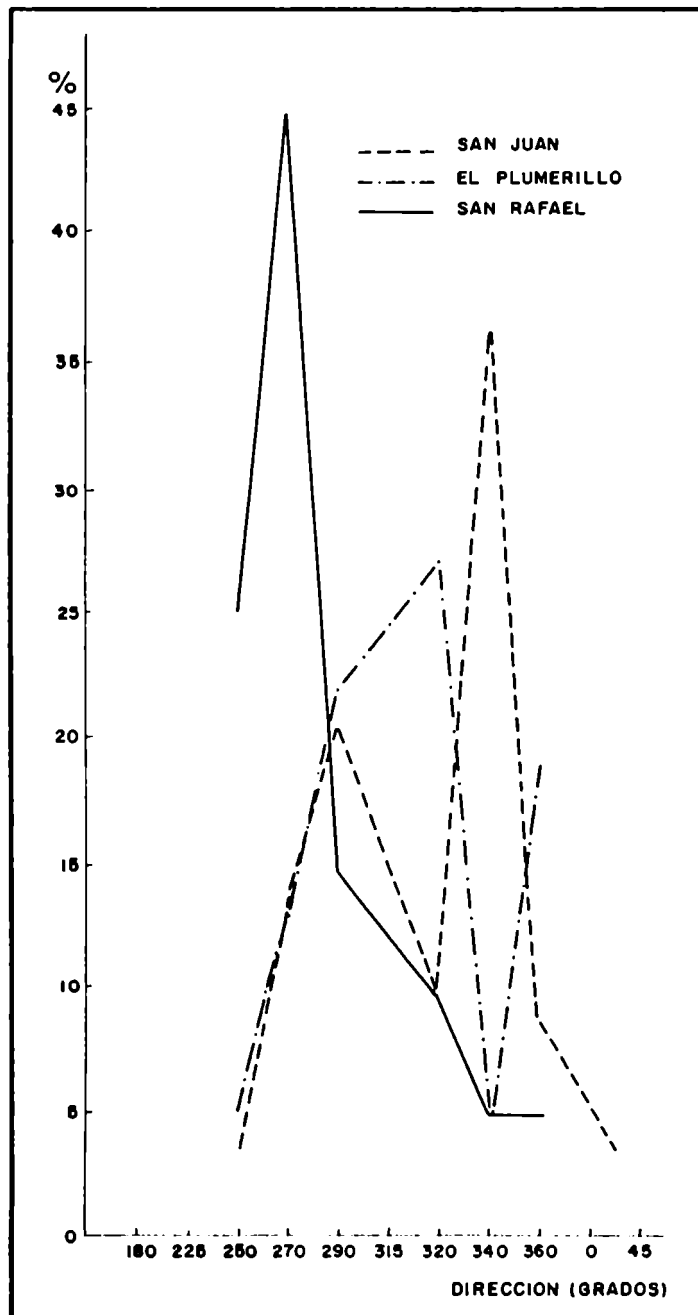


Fig. 2.111 Frecuencia de la dirección del Viento Zonda (en porcentajes respecto del total) en San Juan, El Plumerillo y San Rafael.

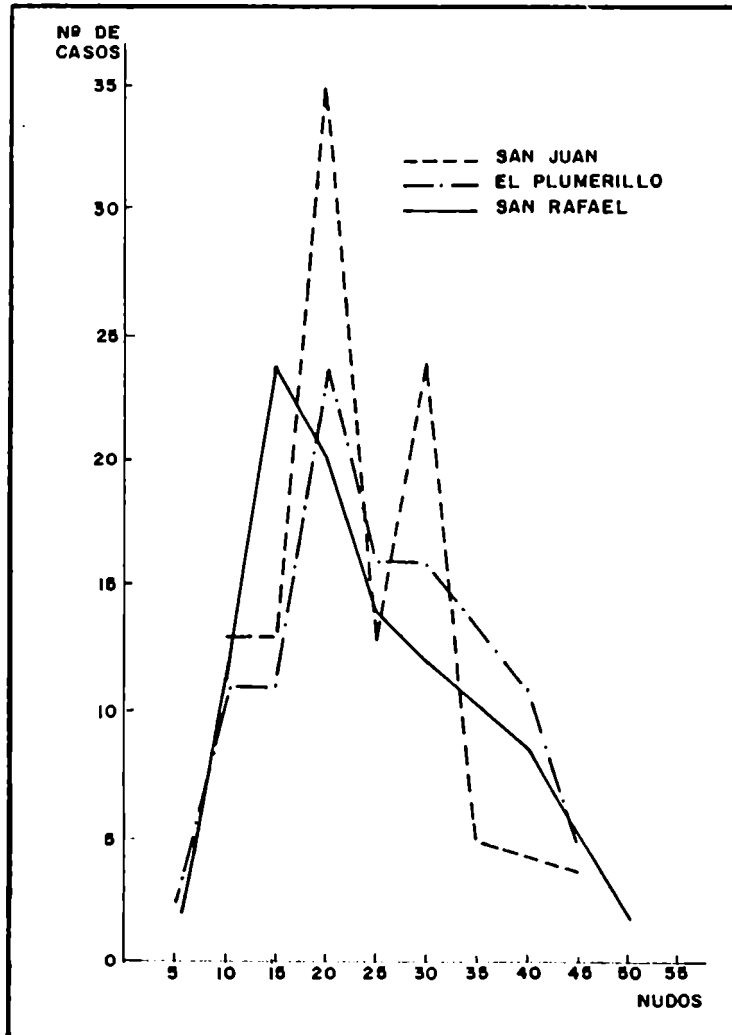


Fig. 2.12: Frecuencia de la velocidad del Viento Zonda (en porcentajes respecto del total) en San Juan, El Plumerillo y San Rafael.

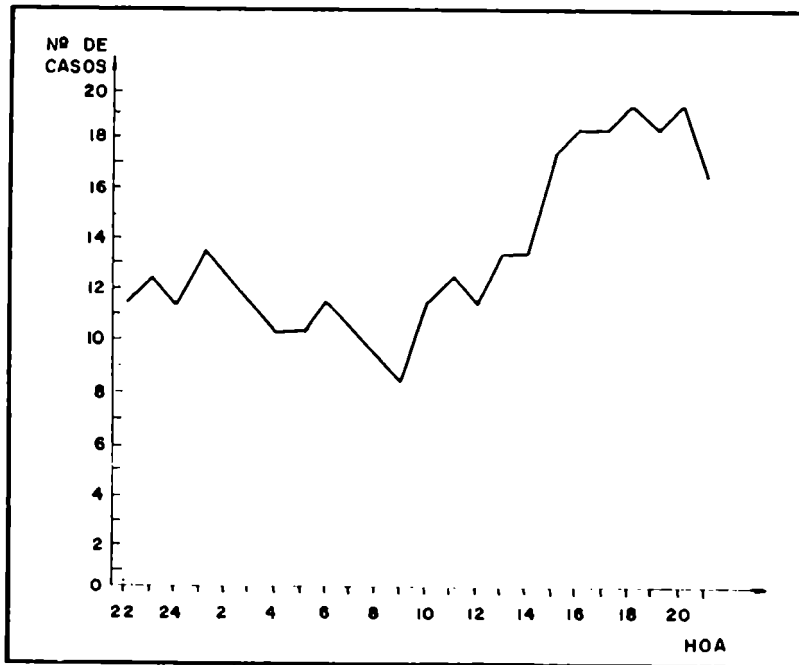


Fig. 2.13: Distribución de frecuencia de horas del día con Viento Zonda en El Plumerillo.

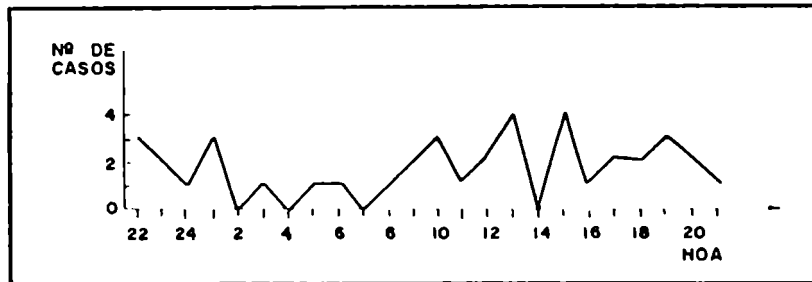


Fig. 2.14: Distribución de frecuencia de horas de comienzo de Viento Zonda en El Plumerillo.

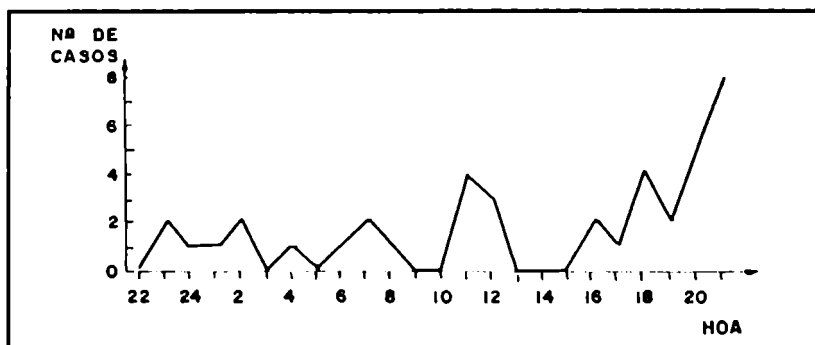


Fig. 2.15: Distribución de frecuencia de horas de finalización en El Plumerillo.



### 2.2.2.3.3 En San Rafael -

Esta estación con menor frecuencia de Viento Zonda, muestra características semejantes a las de las otras ya mencionadas, en cuanto a las horas en que sopla. La mayor frecuencia corresponde al período comprendido entre las 16 y las 20, no registrándose el fenómeno en las primeras horas de la madrugada (fig. 2.16).

El comienzo del evento tiende a suceder al promediar la tarde y su finalización al terminar la misma (fig. 2.17 y 2.18). Su duración media más frecuente es de tres horas (fig. 2.10). Las ráfagas máximas tienden a ser directamente del oeste con una velocidad más frecuente de 20 nudos (fig. 2.11 y 2.12).

En la tabla 2.14 se caracteriza el comportamiento térmico, hídrico y bórico que está asociado al desarrollo del fenómeno.

TABLA 2.14 PARAMETROS ASOCIADOS AL ZONDA OBTENIDOS DEL ANALISIS SECUENCIAL HORARIO

ESTACION	SAN JUAN	EL PLUMERILLO	SAN RAFAEL
PARAMETRO			
Tx <b>maximorum</b>	41 (16/12/81)	37 (16/12/81)	30 (18/6/76) 30 (19/10/82)
Tx <b>media</b>	28.6	26.3	24.3
T <b>media</b>	25.6	24.2	22.0
Td <b>minimorum</b>	-18(8/5/82) -18(12/8/82) -18(26/9/83)	-27(12/10/76)	-26(24/6/81)
Td <b>mínimo medio</b>	-7.5	-9.3	-8.8
Td <b>medio</b>	-4.4	-5.1	-6.2
H. <b>relativa media</b>	8.7%	8.1%	10.7%

Variación de la presión antes del comienzo del evento :

48 horas antes	-10.9 hPa	-11.0 hPa	-9.7 hPa
24 horas antes	-8.1 hPa	-8.0 hPa	-8.8 hPa
12 horas antes	-5.4 hPa	-5.5 hPa	-5.7 hPa
6 horas antes	-3.2 hPa	-2.9 hPa	-3.9 hPa
3 horas antes	-1.9 hPa	-1.1 hPa	-2.1 hPa
P <b>minima</b>	988.6 hPa	990.2 hPa	992.3 hPa
P <b>minima media</b>	998.7 hPa	998.6 hPa	1001.5 hPa
Ráfaga <b>máxima</b>	340 o/25.7 m/s	290 o/23.2 m/s	270 o/23.2 m/s

Tx significa temperatura máxima, Td temperatura del punto de rocío. La presión se expresa a nivel del mar.

Algunos datos de la tabla 2.14 difieren respecto de los obtenidos en las tablas 2.11a y 2.11b debido a las limitaciones impuestas por la distinta densidad de la información.

En particular las temperaturas máximas de las libretas son las que se registran el 'día de Viento Zonda', en cambio las de secuencia horaria corresponden al valor más alto alcanzado durante el Zonda. Se ve que en San Juan, por ejemplo, los 43.3 grados del día 16/12/81 se registraron antes de la iniciación del Viento Zonda (tabla 2.13b).

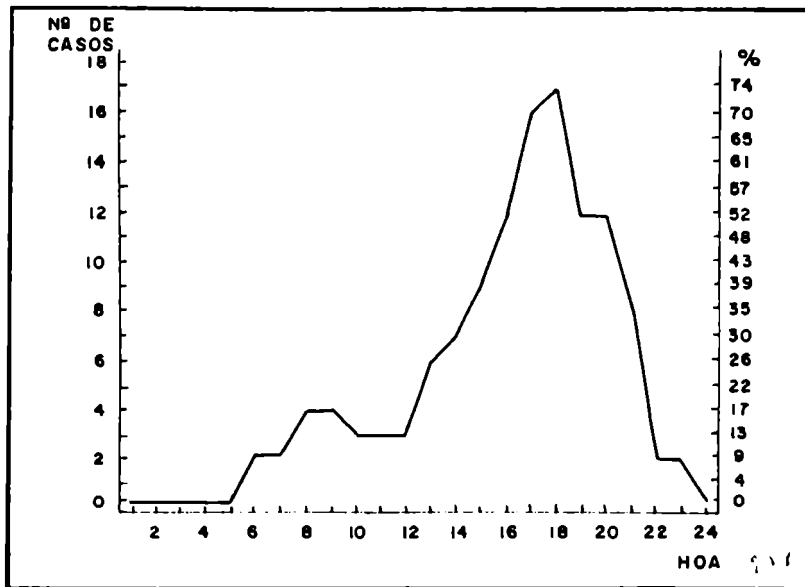


Fig. 2.16: Distribución de frecuencia de horas del día con Viento Zonda en San Rafael.

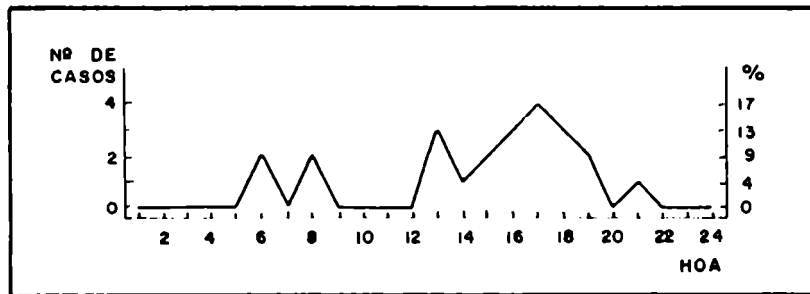


Fig. 2.17: Distribución de frecuencia de horas de iniciación del Viento Zonda en San Rafael.

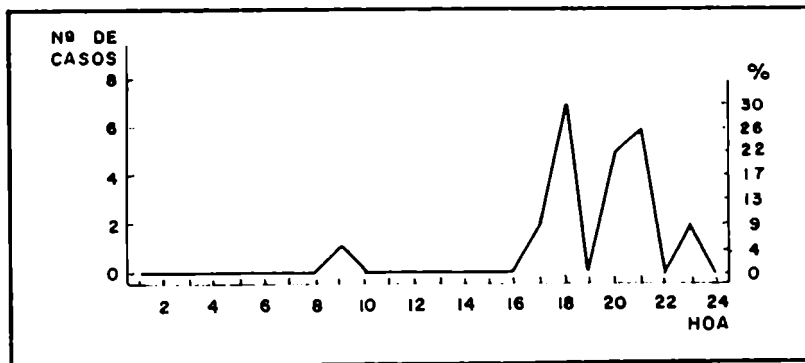


Fig. 2.18: Distribución de frecuencia de hora de finalización del Viento Zonda en San Rafael.

Las ráfagas máximas también difieren de las obtenidas de libretas meteorológicas, obteniéndose valores mas elevados tales como San Juan 320 o/30 m/s y El Plumerillo 340 o/34 m/s.

## 2.3 CLIMATOLOGIA DEL VIENTO ZONDA EN UNA ESTACION DE MONTANA

Se realizó una climatología de Viento Zonda para la estación de Vallecitos, ubicada en la ladera oriental del Cordón del Plata a 2550 m.s.n.m. (ver foto satelitaria del Capítulo 1).

Debido a la escasez y poca bondad de los datos del anemógrafo se aplicaron criterios indirectos de detección del Viento Zonda, tomando o solo la temperatura (Zonda térmico) o solo la humedad relativa (Zonda húmico).

El análisis abarco al período 1/1/79 al 31/12/84.

### 2.3.1 El Zonda térmico

Este método tiene como objetivo determinar el incremento de temperatura que es necesario obtener en un intervalo de tiempo fijado para poder decir que se está en presencia del Zonda térmico, teniendo en cuenta la onda climática diaria (Norte, F.A., 1984b y 1984c)

Además, ver en qué medida los casos de Zonda definidos usando solamente la temperatura, coinciden con los de Zonda real detectados con fajas de termohigrógrafos.

El método fue probado en estaciones ubicadas al Noroeste de la provincia de Mendoza.

Si bien se consideraron los datos de las estaciones Punta de Vacas, La Asuadita, Puesto Reynoso y Vallecitos (ver Capítulo 1 o Apéndice C) se rescató esta última porque :

- i) Posee información horaria suficientemente completa y tiene el registro continuo mas largo de todas.
- ii) Está en una región muy singular de elevada frecuencia de Viento Zonda, estimación que surge del análisis comparativo de fajas de termohigrógrafos, de información verbal de personas que recorren el area y/o viven en ese lugar.
- iii) Está ubicada en una zona donde además del Zonda se registran también tormentas convectivas en verano y temporales de nieve en invierno producidas por advección del sudeste o por vaguadas y frentes fríos provenientes del Océano Pacífico.

Para definir al 'Zonda térmico' se desarrollaron varios pasos previos.

Se realizó un análisis mesoclimático del régimen de temperatura de la estación seleccionada.

Se tomó como referencia a la onda climática mensual en base a los datos horarios disponibles.

Se definió la onda media horaria mes a mes (fig. 2.19).

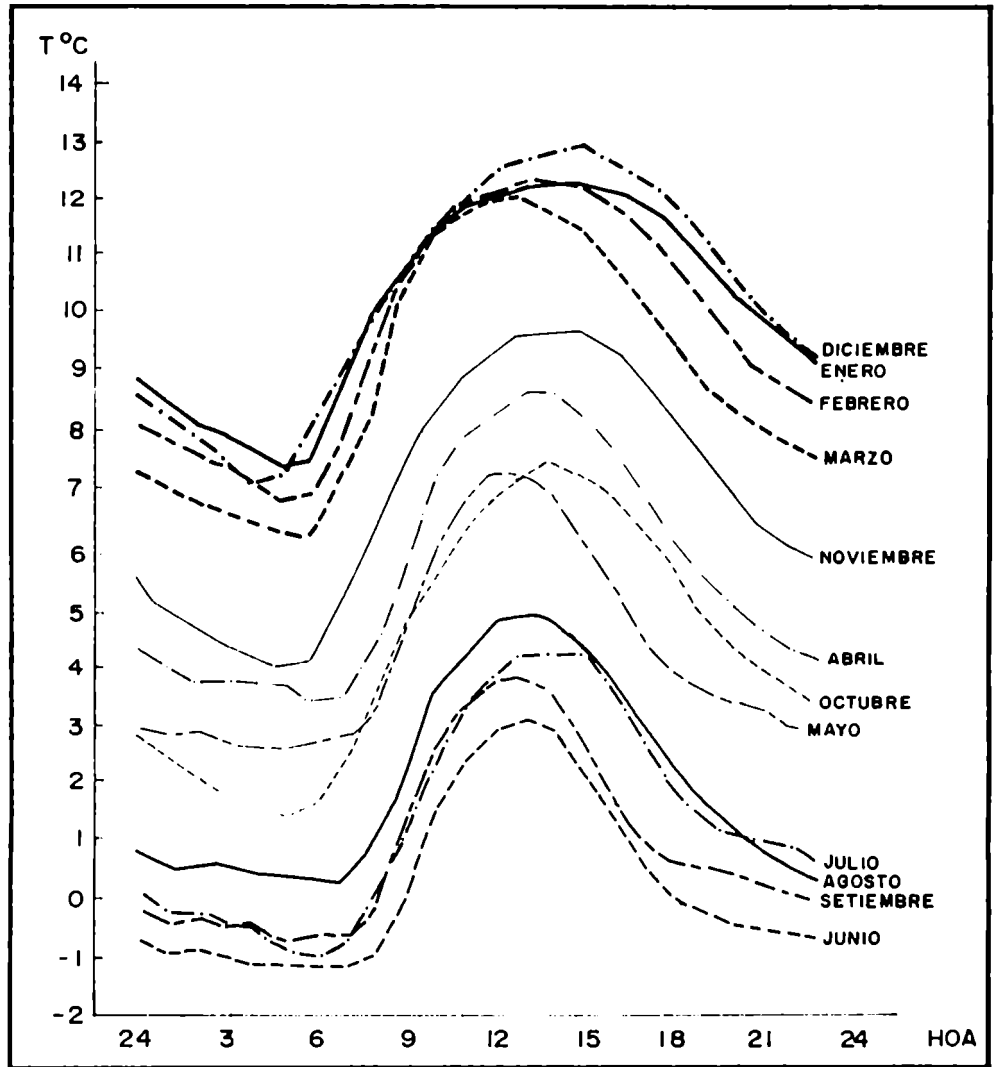


Fig. 2.19: Variación de la temperatura media horaria mes a mes en Vallecitos.

Se calculó  $\Delta T_c = T_{ci+1} - T_{ci}$

$$\Delta T = T_{i+1} - T_i$$

siendo

- i : hora oficial
- Tc : Temperatura climática media
- T : Temperatura real
- $\Delta T_c$  : Variación de la temperatura media entre una hora y la siguiente
- $\Delta T$  : Variación de la temperatura real entre una hora y la siguiente

Se definió la relación

$$\Delta Z = \Delta T_c - \Delta T$$

y se calcularon los

$$\Delta Z \geq KJ$$

(la variación de J cada 0.5 grados centígrados)

Se probaron distintos KJ hasta hallar uno que fuera apropiado para considerarlo como límite.

Se tomaron meses de la serie al azar y se analizaron exhaustivamente las correspondientes fajas de termohigrógrafos. Con la ayuda de la curva de la humedad relativa y de los días de Zonda identificados para el llano por los métodos mencionados en 2.2.1 y 2.2.2 se determinó en cuanto coinciden los Zondas reales con los térmicos (considerándose la hipótesis de que si hubo Viento Zonda en el llano también lo hubo en la zona de montaña).

Por otra parte, el análisis mesoclimático permitió establecer que en Vallecitos (fig. 2.19) existen tres estaciones en el año: una cálida (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo); una intermedia (Octubre, Noviembre, Abril y Mayo); y una fría (Junio, Julio, Agosto y Setiembre).

En cuanto a la definición del Zonda térmico, tomando como ejemplo a Mayo de 1983, se obtuvo que el KJ óptimo está comprendido entre  $KJ = 1.5$  y  $KJ = 2.5$  (Tabla 2.15)

Tabla 2.15 RESULTADOS DE PRUEBAS DE LA BUSQUEDA DE UN KJ OPTIMO PARA EL ZONDA TERMICO

Vallecitos Mayo 1983	Z > 1.5	Z > 2.5
Zondas reales	9	9
Comienzos y finales de Zondas reales detectados	8	2
Comienzos solamente	19	14
Finales solamente	10	5
Comienzos de no-Zondas	8	2
Finales de no-Zondas	1	1

Esto se obtuvo probando distintos valores de KJ (fig. 2.20a; 2.20b; 2.20c; 2.20d).

Considerando la forma adquirida por la función temperatura respecto del tiempo se obtuvieron dos grupos de Zonda térmico: el "pulsante" caracterizado por presentar alternadamente incrementos y decrementos de temperatura en intervalos cortos de tiempo y el "continuo" donde esas variaciones no se manifiestan.

FIGURA 2.20: DEFINICION DEL ZONDA TECNICO EN EL MES DE MAYO DE 1983 PARA  
DISTINTOS VALORES DEL LIMITE KJ.

	00H	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1		0.6					1.3	0.9	1.9				0.7												
2			0.6				8.8	2.4										0.7							
3										8.6															
4												1.1	1.8	2.0	1.0		0.7								0.9
5 2.8												10.1	0.7	0.6									1.1		1.7
6 1.2		0.7	0.5	1.2	0.9	0.5		0.5	3.0	1.1	0.5														
7 0.6										1.0								3.2					0.6		
8		1.1						0.6	4.2					1.0											0.7
9								0.8	4.0		0.8														
10								1.4	0.9	0.6												0.6			
11									2.5	1.9											7.1				
12									3.2	1.6												1.1			
13 0.5											2.0	2.2													
14									0.5	0.5	2.6	1.2													0.9
15									0.5	1.9	2.1														
16									0.5	1.9	1.7	0.5	1.4												
17																									3.2
18											1.1	2.8													
19											1.0	0.7	2.1												
20											0.5	0.8	0.5												
21											1.2														
22											0.9	1.9													
23											0.9	1.9													
24											1.5														
25											0.9	4.4													
26											0.5	0.8	2.0	2.5											
27											1.4	4.6	0.5												
28																									
29											1.0	0.5	0.8												
30											2.2		0.5												
31																									

FIG. 2.20a: con KJ = 0.5

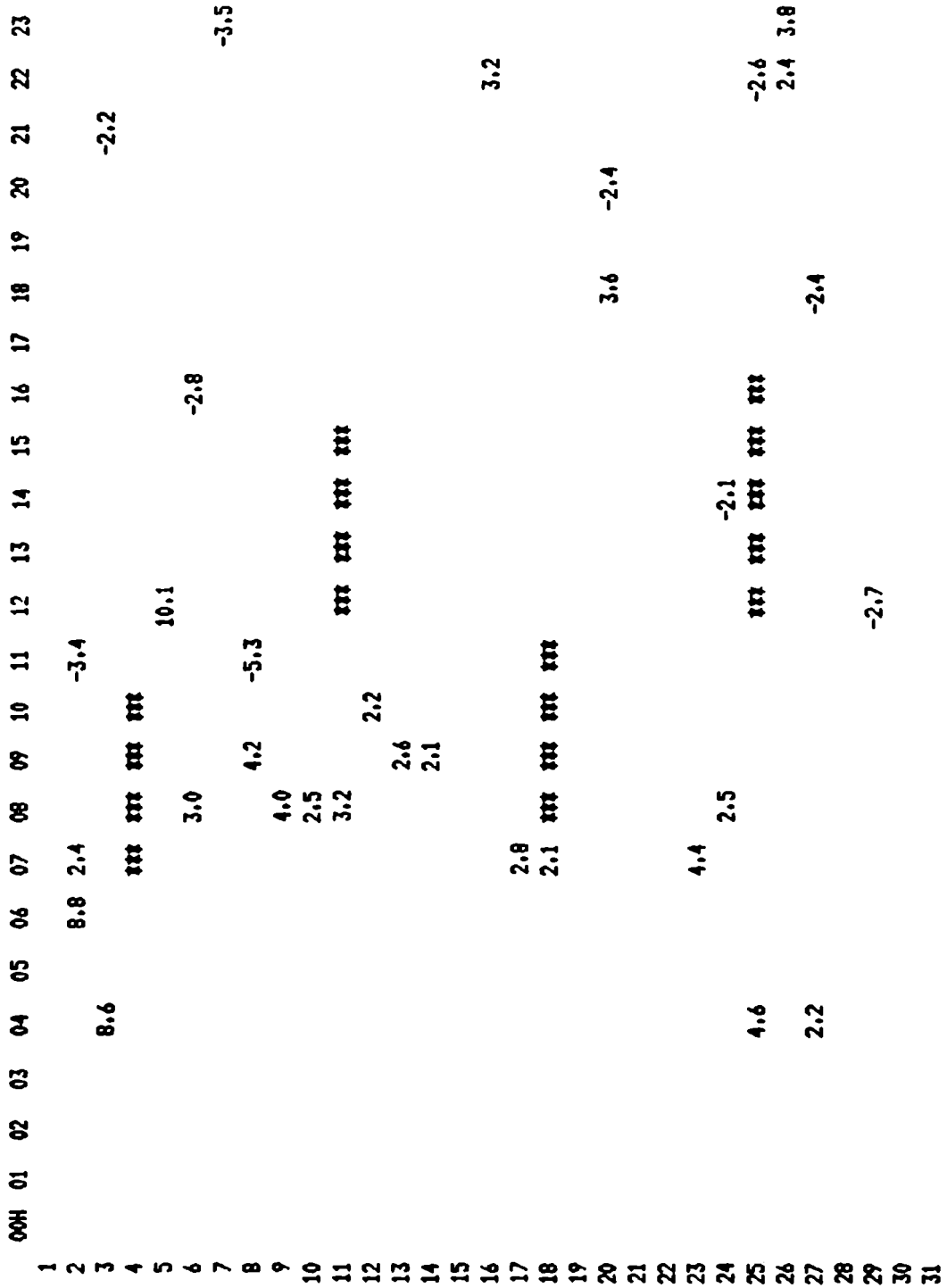


FIGURA 2.208: con KJ = 1.5

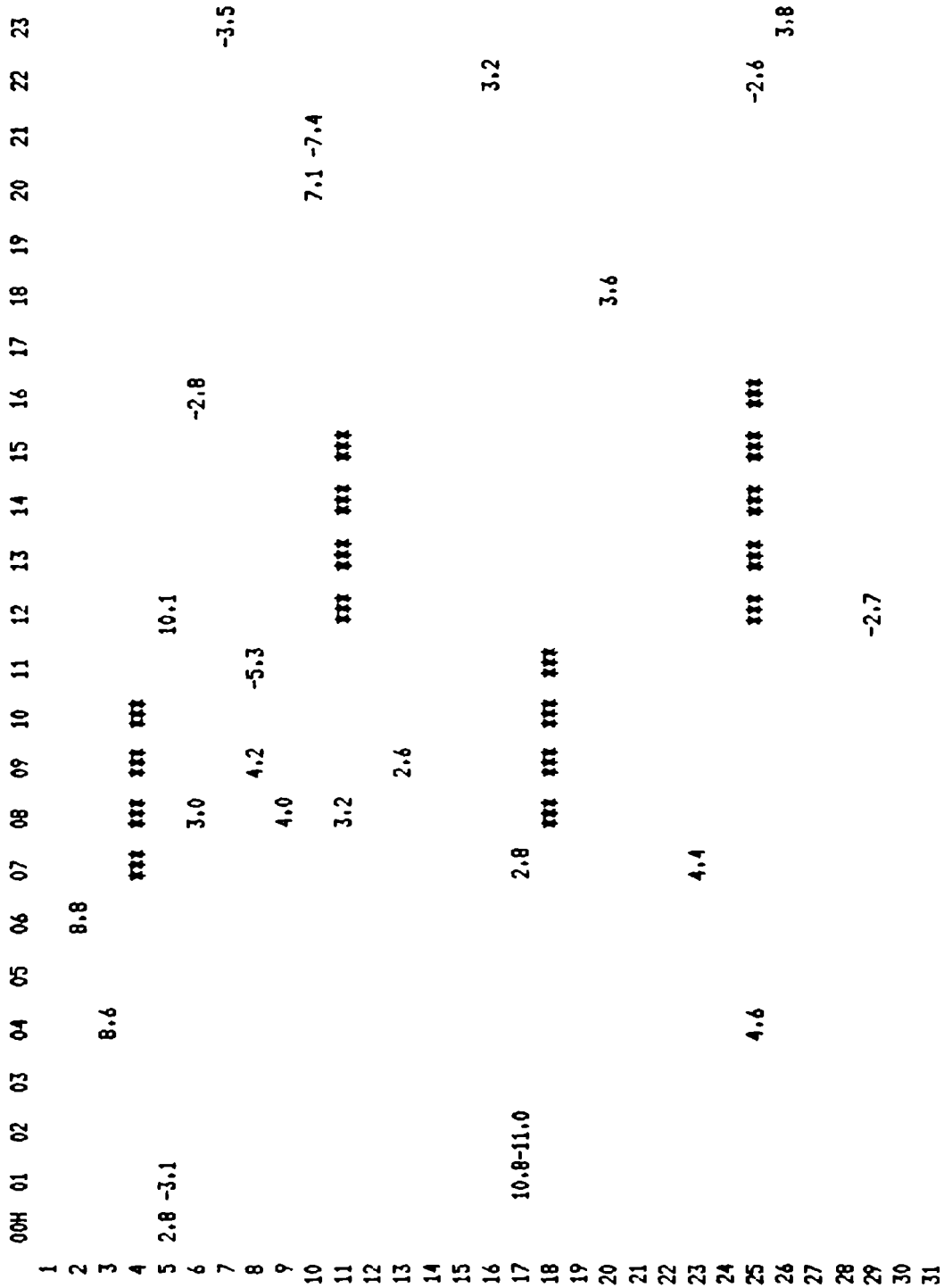


FIGURA 2.20c: con KJ = 2.5



00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1						8.8																	
2				8.6																			
3																							
4																							
5																							
6											10.1												
7																							
8																							
9								4.2															
10							4.0																
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							

El termohigrograma de Vallecitos del 23 al 26 de Septiembre de 1983 ejemplifica a estos dos tipos de Zonda (fig. 2.21).

De la observación exhaustiva de fajas de termohigrógrafos y de los datos de  $\Delta Z$  se vio que :

i) Cuando no se registraron finalizaciones de Zonda térmico o sea cuando el último  $\Delta Z$  era mas bajo que el limite impuesto, correspondía a casos en donde no habia Zonda real

ii) Hay algunos casos de Zonda real cuyos finales tampoco son detectados. Corresponden a eventos débiles y cortos.

iii) Cuando un Zonda térmico se inició con valores de  $\Delta Z$  bastante superiores de KJ, es seguido de otro comienzo con KJ de menor valor, antes de aparecer la finalización. Esto ocurre cuando se registran Zondas reales intensos bien definidos y en general de mas de 24 horas de duración.

iv) A la inversa, si se detectan dos o mas finales de Zonda térmico (valores negativos en las figs. 2.20b y 2.20c) en forma casi consecutiva, el último final corresponde generalmente al descenso de temperatura ocasionado por el pasaje de un frente frío.

Si bien el método permitió detectar los comienzos de los Zondas reales, los KJ deben ser diferentes según la época del año, observándose que tendrían que ser mas altos para permitir la detección de los ocasionales Zondas reales que puedan ocurrir en verano.

Por otro lado, hubo casos donde la marcha de la temperatura definió al Zonda térmico sin que descendiera correspondientemente la humedad relativa, no presentándose Zonda real. Esto obedecería a :

i) Casos de desaparición de nubosidad y consiguiente aumento térmico por efecto radiativo.

ii) Casos de calentamiento posteriores a la salida del sol.

iii) Calentamiento por cambio en la dirección del viento (brisa valle-montaña).

Para los casos de Zonda pulsante se vio la necesidad de considerar incrementos de temperatura en intervalos de tiempo inferiores a una hora.

Un método computacional permitió detectar el comienzo del Zonda térmico y los periodos pulsantes y continuos. Un ejemplo correspondiente a Mayo de 1983 se ve en fig. 2.22.

La marcha anual del Zonda térmico de Vallecitos se ejemplifica en fig. 2.23, observándose que el número de casos medio mensual presenta un máximo principal en Mayo y otros dos secundarios en Julio y Agosto.

Sin embargo, esta distribución de frecuencia no es tan representativa ya que un solo caso de Zonda térmico es capaz de durar varios días seguidos sin interrupción, en cambio, considerando el número de horas de Zonda térmico, cuantificadas como el porcentaje de horas con Zonda respecto del total de horas que hay en cada mes, se obtuvo una distribución de frecuencia de mayor significancia (fig. 2.24).

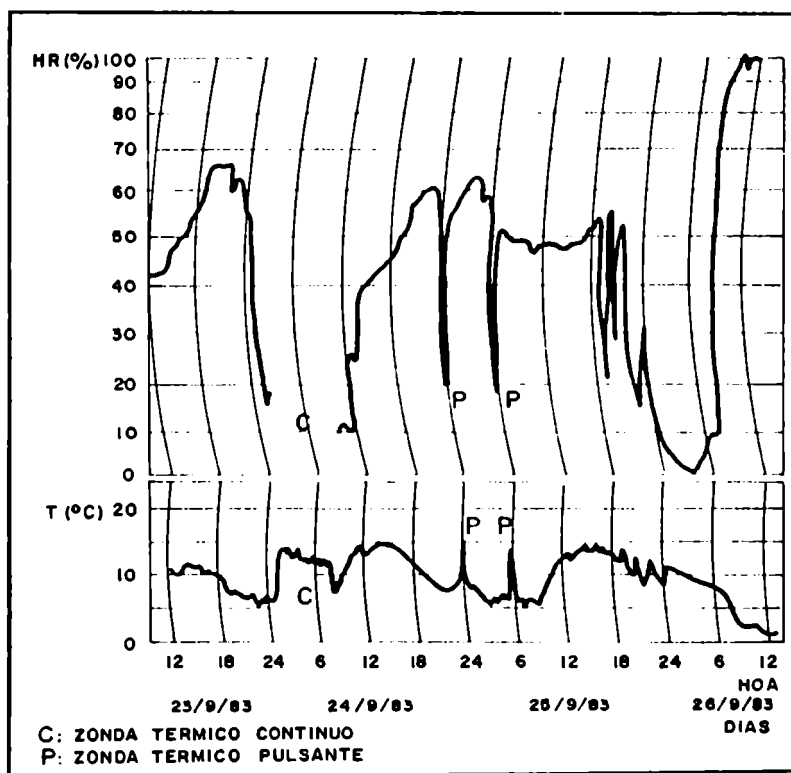


Fig. 2.21: Casos de Zonda pulsante y continuo en Vallecitos entre el 23 y el 26 de setiembre de 1983 según fajas de termohigrógrafos.



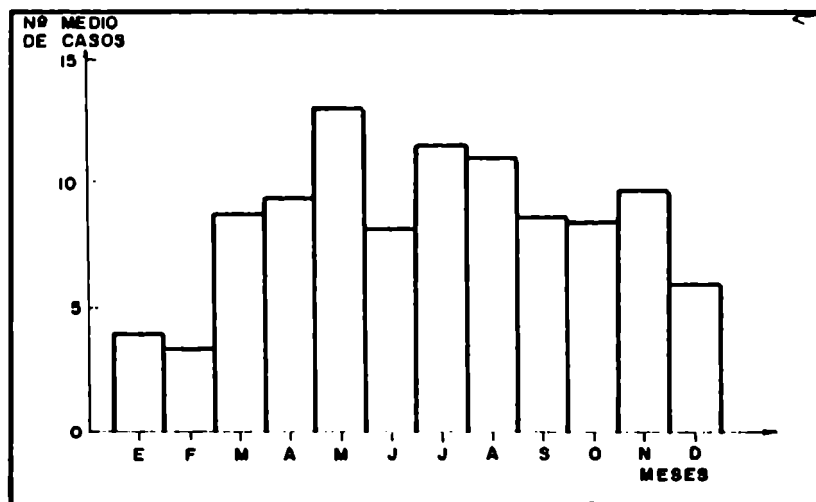


Fig. 2.23: Marcha anual del Zonda térmico en Vallecitos expresada en número medio de casos por mes.

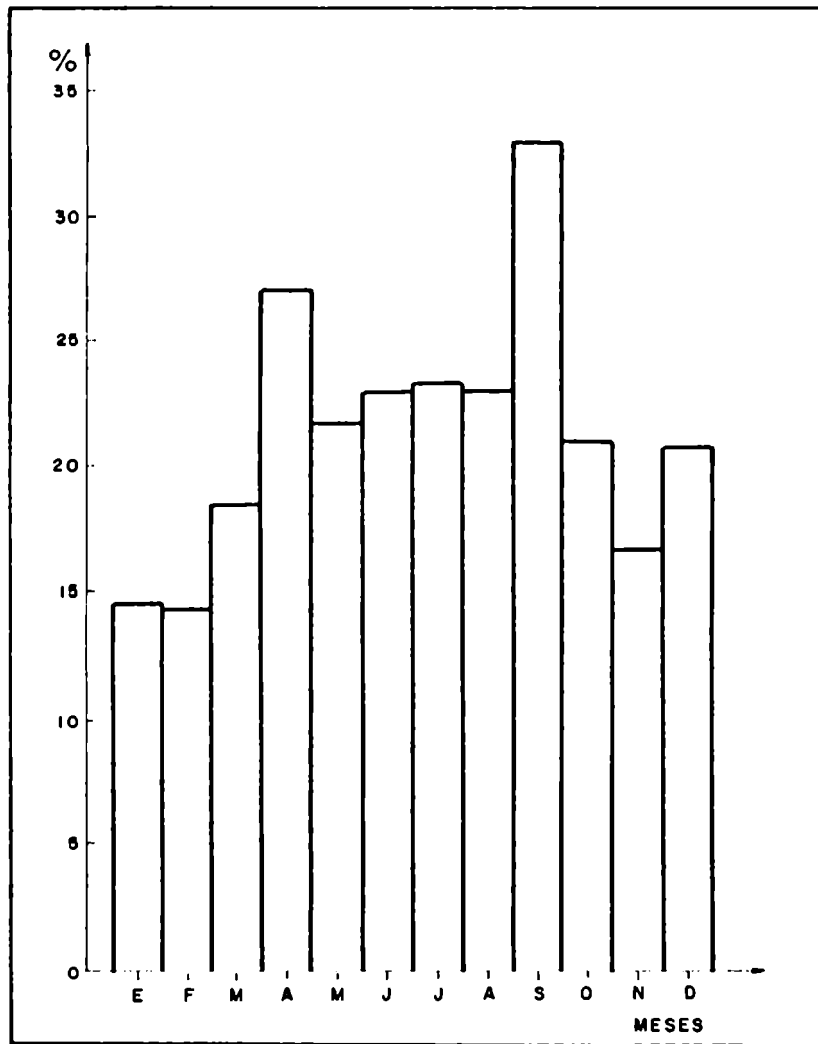


Fig. 2.24: Marcha anual del Zonda térmico en Vallecitos expresada en porcentaje de horas en que se registra respecto del total de horas por mes.

Se observan diferencias respecto de la distribución anterior. Hay mas horas con Zonda térmico en Septiembre y Abril que en el resto del año. En ambos gráficos predomina en invierno.

### 2.3.2 El Zonda hídrico

El desarrollo de este método presenta características semejantes al de Zonda térmico.

El objetivo es determinar que variación de humedad relativa es necesaria obtener en un intervalo de tiempo fijado para poder decir que se está en presencia del Zonda hídrico. Además ver en que medida los casos de Zonda definidos de esa forma coinciden con los de Zonda térmico y con los de Viento Zonda real.

El primer paso consistió en realizar un análisis mesoclimático del régimen de humedad de la estación Vallecitos, estudiándose la marcha horaria de la humedad relativa media mes a mes (Fig. 2.25).

Se pueden distinguir tres estaciones en el año:

- i) Una húmeda que comprende los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril.
- ii) Una estación intermedia coincidente con la primavera (Setiembre, Octubre y Noviembre).
- iii) Una seca en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto.

En particular, las horas de la tarde de los meses de Mayo y Diciembre se asemejan a la estación intermedia (fig. 2.25).

Una vez obtenida la onda climática media anual, se calculó:

$$\Delta H_c = H_{ci+1} - H_{ci}$$

$$\Delta H = H_{i+1} - H_i$$

donde

i : hora oficial

H<sub>c</sub>: humedad relativa media (climática)

H : humedad relativa real

$\Delta H_c$ : variación de la humedad relativa media (climática)

entre una hora y la siguiente

$\Delta H$ : variación de la humedad relativa real entre una hora y la siguiente.

Se definió:

$$\Delta x = \Delta H_c - \Delta H$$

calculando

$$\Delta x \geq KJ \quad (\text{la variación de } J \text{ es unitaria})$$

y probándose distintos KJ hasta hallar uno que sea apropiado como límite.

Se tomó un segundo límite c igual a un valor fijo de humedad relativa.

Se estableció finalmente que el Zonda hídrico existe si se cumple la relación:

$$[ \Delta x \geq KJ ] \leq c$$

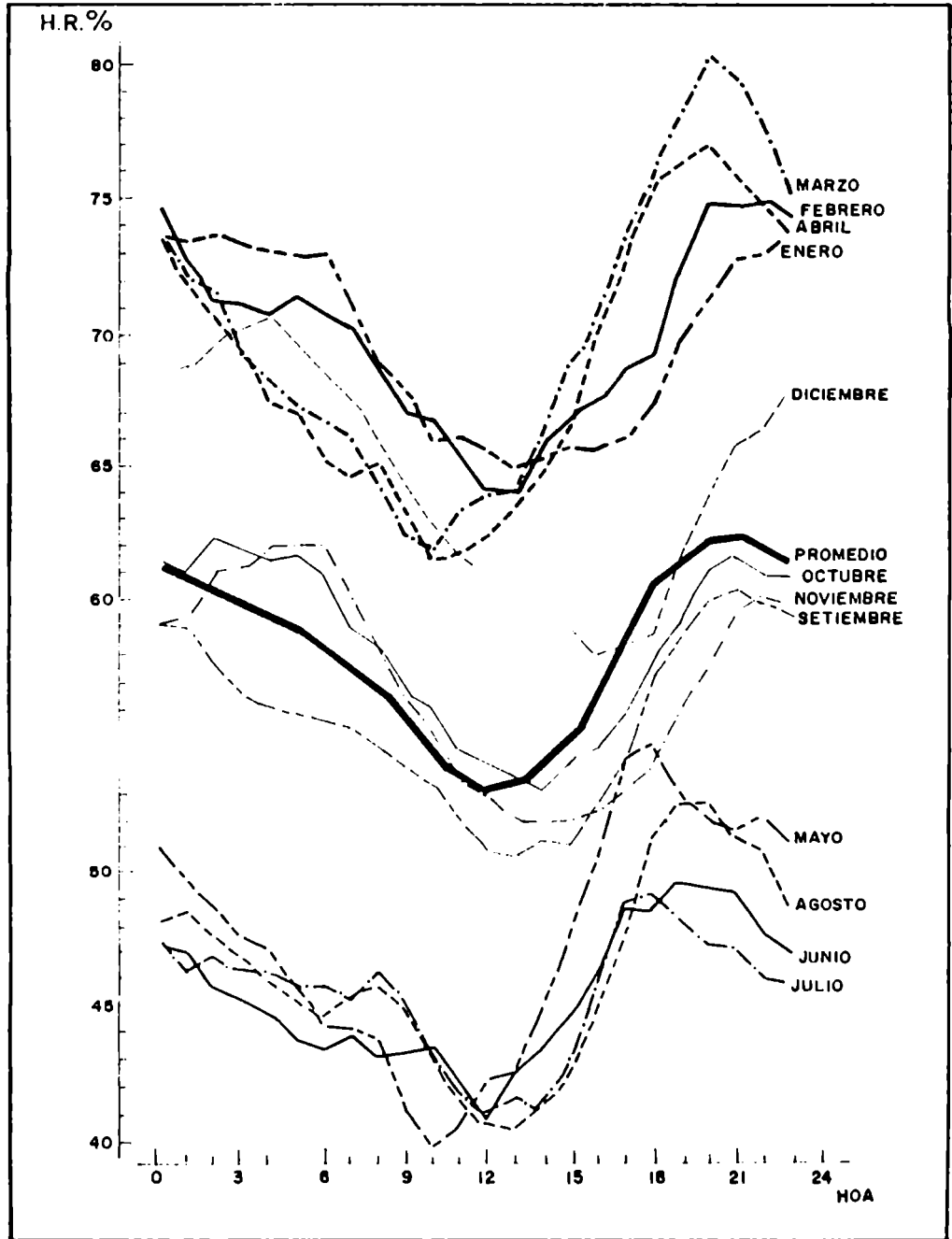


Fig. 2.25; Marcha horaria de la humedad relativa media, mes a mes, en Vallecitos.



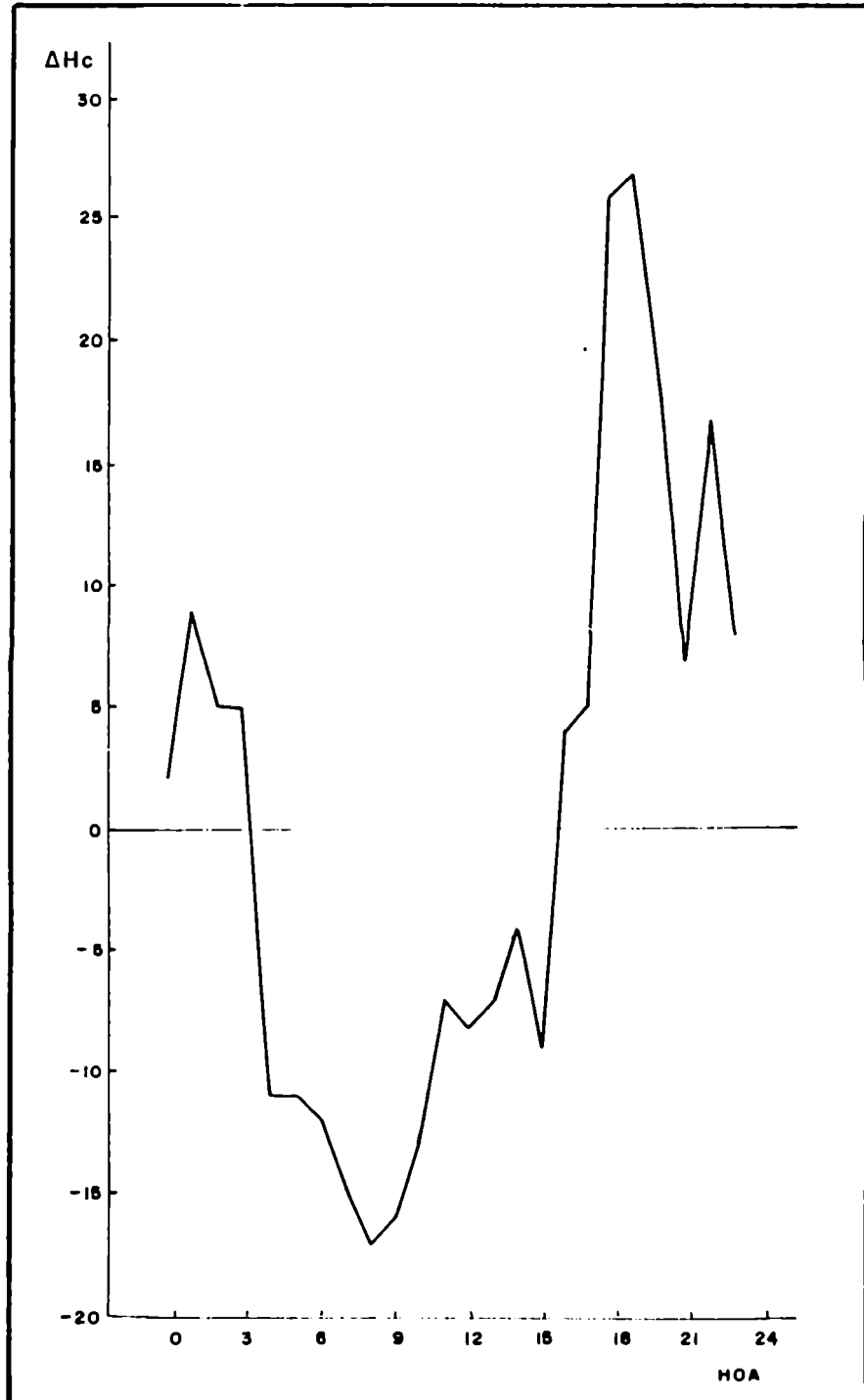


Fig. 2.26: Marcha horaria de la variación de la humedad relativa media entre una hora y la siguiente ( $\Delta H_c$ ) en Vallecitos.

En la figura 2.26 se graficó la variación de  $\Delta H_c$  anual media horaria, deduciéndose que el Zonda húmico tiene su mayor incidencia en horas de la madrugada y primeras de la mañana y una menor al finalizar la tarde.

Como ejemplo del método desarrollado se eligió un mes de Mayo dado que este mes muestra los valores de humedad mas bajos de todo el año. La figura 2.27 indica los valores de humedad relativa de Mayo de 1983.

FIGURA 2.27 HUMEDAD RELATIVA HORARIA DEL MES DE MAYO DE 1983 EN VALLECITOS

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	70	61	68	68	67	68	75	70	68	69	65	65	63	62	64	68	76	84	88	85	76	79	80	82
02	87	85	90	98	100	95	96	100	22	15	15	23	59	67	69	73	82	89	95	96	95	95	92	93
03	100	100	100	100	93	12	00	00	00	00	00	00	34	27	65	80	83	93	95	95	100	100	100	100
04	100	100	100	100	100	100	99	98	**	**	**	87	75	65	57	53	51	51	53	58	61	64	66	67
05	68	68	69	70	71	71	72	72	73	73	65	60	57	53	52	51	51	55	59	63	63	58	48	42
06	30	22	18	18	14	12	09	07	06	04	00	00	00	00	00	00	00	00	04	05	08	10	11	
07	14	15	15	15	16	16	15	16	17	17	18	19	32	43	45	50	54	59	32	25	25	24	24	22
08	70	70	55	49	48	47	45	42	43	48	27	26	29	72	73	75	81	90	95	80	75	85	96	65
09	99	97	80	67	76	52	52	58	65	61	66	68	67	68	70	73	78	86	88	87	91	91	87	85
10	86	81	72	66	61	45	36	32	31	28	23	37	38	44	58	70	75	70	58	54	52	47	45	44
11	38	36	35	34	33	33	32	32	33	31	23	23	29	33	**	**	40	48	53	57	53	50	45	43
12	42	42	42	42	41	41	41	40	40	41	40	36	33	31	30	38	50	67	79	74	63	62	61	56
13	49	46	35	31	27	26	25	25	23	22	21	19	18	19	40	47	56	72	75	69	67	63	72	60
14	48	40	37	36	35	35	33	33	32	32	31	18	17	16	17	50	56	63	64	61	53	51	48	46
15	46	47	48	51	50	49	40	40	31	27	30	32	38	44	54	65	74	78	83	90	75	38	88	89
16	89	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	87	89	90	90	90	90	60
17	25	34	45	44	44	38	34	32	30	32	34	33	44	53	26	24	25	25	27	28	29	36	48	49
18	53	56	57	60	55	49	40	37	34	20	**	**	16	16	18	20	17	16	50	36	32	33	50	66
19	72	93	96	82	79	69	70	51	42	40	39	45	46	44	43	42	56	72	74	80	80	85	89	90
20	92	91	90	88	86	86	87	89	90	81	76	73	69	68	69	69	70	72	75	33	29	50	60	68
21	70	69	74	75	75	68	70	87	88	80	76	75	75	74	71	75	77	80	81	92	82	83	85	85
22	86	87	85	84	83	83	82	83	84	80	80	74	73	74	78	82	90	100	85	86	97	95	92	83
23	76	74	70	60	56	55	50	52	50	42	40	39	37	34	33	46	60	66	45	23	18	15	13	13
24	13	13	12	13	14	15	16	16	21	20	16	16	16	16	18	25	31	35	35	36	34	33	32	31
25	30	30	27	32	22	05	00	00	00	00	00	00	**	**	**	**	10	16	20	28	33	34	42	54
26	56	58	60	64	69	75	77	79	95	97	98	99	97	100	99	97	80	85	83	60	65	95	60	33
27	18	16	16	16	16	14	14	14	15	15	15	12	10	05	05	06	15	30	60	87	89	86	86	87
28	87	87	80	68	63	55	50	53	53	50	53	51	51	45	41	40	41	40	35	32	31	30	27	27
29	25	25	25	26	27	27	27	28	30	33	33	37	60	85	100	100	100	100	100	100	95	92	92	93
30	93	94	84	84	85	88	93	98	98	97	50	94	92	90	90	90	90	89	89	90	94	95	95	95
31	95	95	95	95	95	94	95	94	93	91	80	78	78	78	79	80	82	83	82	82	82	83	84	86

Los asteriscos significan ausencia de datos.

La figura 2.28 presenta un ajuste grueso de los valores que permiten detectar Zonda húmico ( $[\Delta x] \geq -14] < 35 \%$ ).

Comparando con la figura anterior se ve que con estos límites impuestos arbitrariamente sólo se detectan los casos mas contundentes.

En la figura 2.29 se ajustan los límites y ahora es  $[\Delta x] \geq -8] < 40\%$ . Realizando idéntica comparación se observa una mayor información de horas con Zonda húmico.

Finalmente luego de varias pruebas se encontró que la relación óptima es aquella donde  $[\Delta x] \geq -6] < 48\%$  (fig. 2.30). Con los límites así definidos no se pierden eventos, a lo sumo podría ocurrir que falten



00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
02	**	**	**	**	**	**	**	**	1.6	7.6	34.5	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
03	**	**	**	**	**	**	**	**	1.6	-0.4	32.5	-7.4	36.0	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
04	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
05	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
06	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
07	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-27.4	-5.3	0.9	-0.5	-0.5	-0.9	47.9
08	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-19.4	-1.4	1.5	42.6	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
09	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
10	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-1.7	-3.4	13.6	-0.5	5.6	**	**	**	**	**	**	**	**	**
11	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
12	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
13	**	-10.0	-2.7	-3.6	0.4	0.5	0.1	-1.8	0.3	0.6	-2.4	-2.5	0.6	19.0	3.9	**	**	**	**	**	**	**	**
14	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-13.4	-2.5	-1.4	-1.0	29.9	**	**	**	**	**	**	**	**
15	**	**	**	**	**	**	**	**	**	4.6	1.6	4.5	5.6	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
16	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
17	10.3	12.0	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-29.0	-5.1	-2.2	-3.4	1.6	2.7	1.9	7.5	11.5	**	**
18	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-0.4	0.0	-1.1	-6.2	-4.4	33.6	-12.3	-3.1	1.5	16.5	**	**
19	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
20	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
21	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
22	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
23	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
24	1.3	0.0	2.3	1.4	2.4	2.5	0.1	5.2	0.3	-2.4	-0.4	-1.5	-0.4	0.0	3.9	2.8	0.6	-0.4	2.7	-1.1	-0.5	-1.5	0.1
25	1.3	-2.0	6.3	-9.6	-15.6	-3.5	0.1	0.2	1.3	1.5	-0.4	**	**	**	**	2.6	3.6	9.7	5.9	1.5	7.5	**	**
26	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
27	-0.7	1.0	1.3	0.4	-0.6	1.5	0.1	1.2	1.3	1.6	-3.4	-3.5	-5.4	-2.0	-2.1	5.8	11.6	29.6	**	**	**	**	**
28	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
29	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
30	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
31	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

FIGURA 2.29 DELTAX >= -8.0 CON H\_REAL < 40 Z (HASTA QUE H\_REAL SEA >= 40 Z)

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54

FIGURA 2.30 DELTA.X >= -6.0 CON H.REAL < 48 Z (HASTA QUE H.REAL SEA >= 48 Z)

algunas horas de los mismos.

Análogamente al caso de Zonda térmico se pueden encontrar dos tipos de Zonda higrico : el pulsante y el continuo (fig. 2.20).

Por otro lado, de las figs. 2.31; 2.22 y 2.30 se deduce que los periodos de Zonda higrico se aproximan mejor a los de Zonda real mientras que los de Zonda térmico los sobreestiman.

En particular el día 15 de Mayo de 1983 supone un Zonda de 24 horas según el método térmico y uno de 5 horas (entre las 10 y las 14 HOA) según el método higrico y un segundo evento desde las 19 a las 21 HOA, que también se puede visualizar en la faja de termohigrógrafo de la Fig. 2.31.

La marcha anual del Zonda higrico considerando el número medio de casos mes a mes se muestra en fig. 2.32. Igual que en el Zonda térmico, la duración de cada caso es muy variable superando en varias oportunidades las 24 o 48 horas.

Más relevante es la figura 2.33 que indica la marcha anual del Zonda higrico considerando el porcentaje de horas en que se registra respecto del total de horas que hay en cada mes, observándose un aumento notable de la frecuencia entre Abril y Mayo.

## 2.4 CLIMATOLOGIA DEL VIENTO ZONDA EN ALTURA

Se estableció que un día de Viento Zonda en altura (ZA) para la ciudad de Mendoza es aquel que presenta al fenómeno en localidades cordilleranas sin que el mismo alcance al llano.

Las localidades consideradas fueron Vallecitos, La Aguadita y Puesto Reynoso, estableciéndose como día de Zonda en altura si el viento se hace presente en al menos una de estas estaciones.

El método del Zonda higrico fue aplicado también a las otras estaciones y se calculó la distribución de frecuencia de días ZA para el periodo comprendido entre el 1/1/74 y 31/12/83.

La fig. 2.34 ejemplifica la marcha anual media del ZA, siendo los meses de invierno los que presentan mayor frecuencia. El gráfico es semejante al de la marcha anual del Zonda higrico en Vallecitos.

El comportamiento climatológico de los parámetros obtenidos mediante radiosondeos para días ZA se considera en el Capítulo 4.

Se destaca que de los casos de Viento Zonda en altura solo un 5.7% alcanza la estación El Plumerillo.

## 2.5 CONCLUSIONES

El método de detección del día de Viento Zonda mediante el uso de datos diarios de libretas meteorológicas es eficaz en tanto permite hallar casi todos los eventos de una serie prolongada.

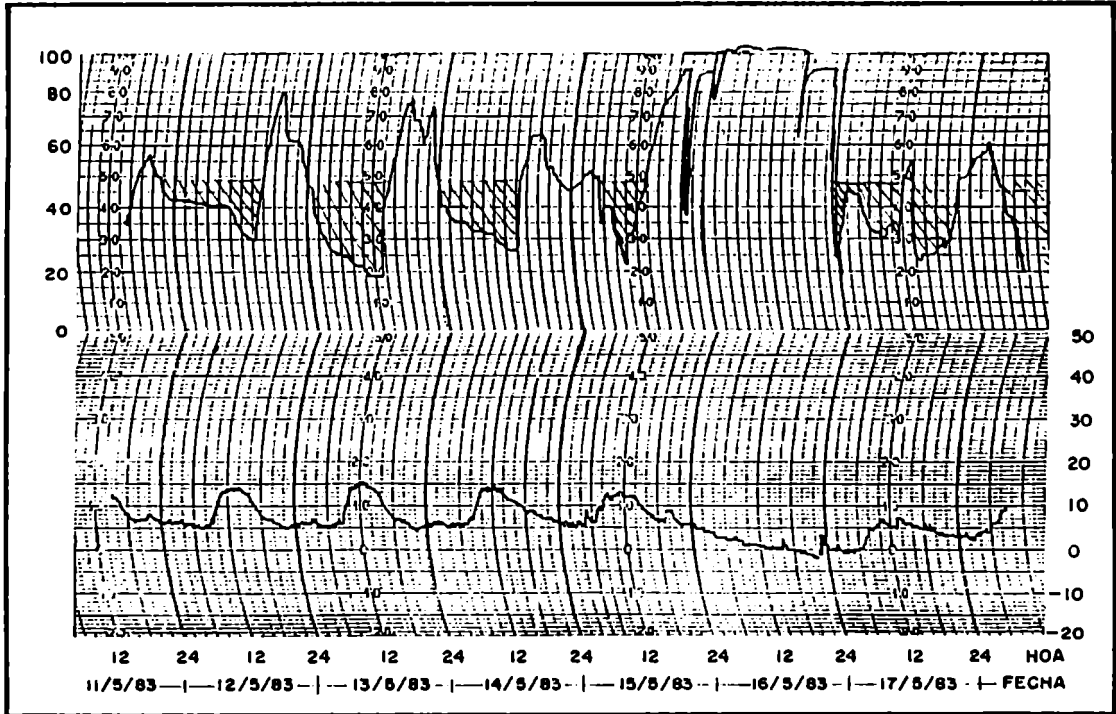


Fig. 2.31: Termohidrograma de la semana del 11 al 18 de mayo de 1983.

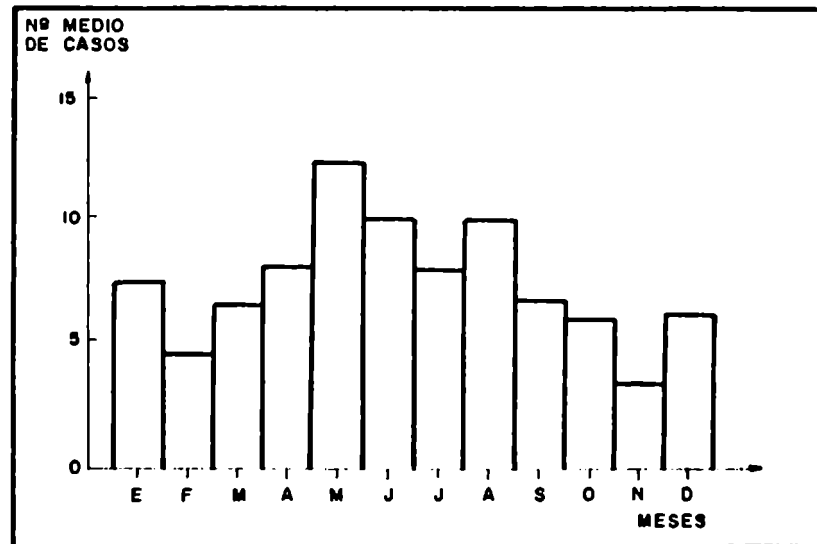


Fig. 2.32} Marcha anual del Zonda hídrico considerando el número medio de casos mes a mes.



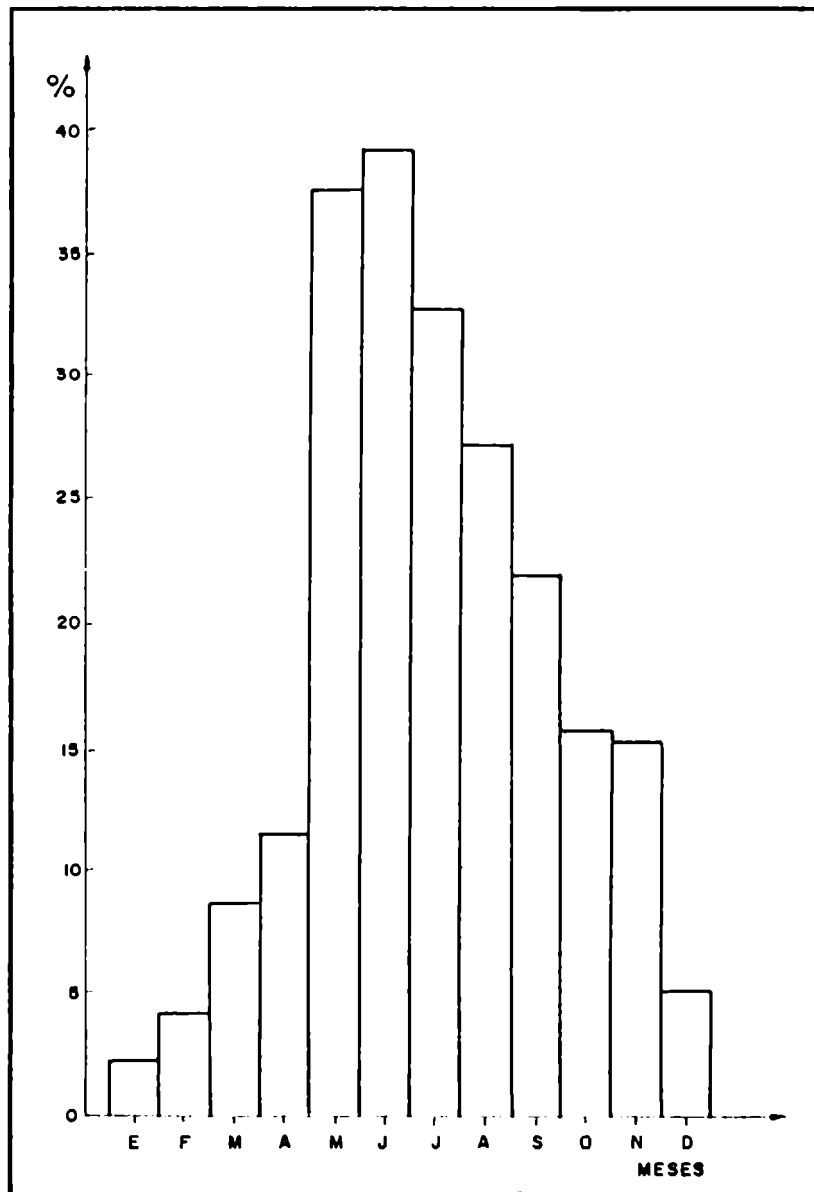


Fig. 2.33; Marcha anual del Zonda histórico considerando el porcentaje de horas en que se registra respecto del total de horas por mes (Vallecitos).

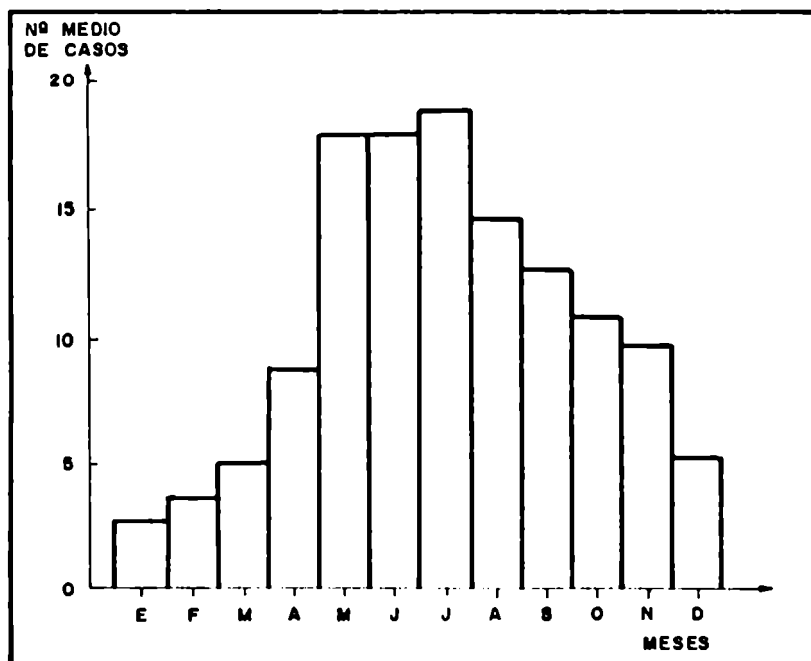


Fig. 2.341 Marcha anual media del Zonda en altura.

El Analisis Discriminante Escalonado (ADE) clasifica mejor los casos de San Juan que los de El Plumerillo debido a la mayor frecuencia y mejor definición del fenómeno en aquella localidad.

Las diferencias en porcentajes correctos de clasificación observadas tanto en San Juan como en El Plumerillo según se considere un periodo continuo de cuatro años y medio o los meses de invierno de once años de observación, se relacionan con el tipo de variable que mas discrimina entre grupos.

Las variaciones hidrotérmicas y el viento máximo alcanzado son los elementos que mejor identifican al día de Viento Zonda.

También en El Plumerillo, la ausencia de nubes bajas, la nubosidad lenticular y la de 'pared' o 'franja' del Zonda desempeñan un papel importante.

Durante el año, la disminución de humedad provocada por el fenómeno es el factor mas relevante, mientras que si se restringe la detección a periodos de invierno, es el calentamiento el que mejor discrimina.

La altura sobre el nivel del mar y la distancia de la estación a la cordillera o precordillera es un factor preponderante de la mayor o menor frecuencia de casos en las distintas localidades.

La marcha anual del Viento Zonda en el llano cuyano permite aseverar que es un fenómeno poco frecuente, siendo bastante menor la presencia de eventos severos o muy severos.

El desplazamiento hacia latitudes mas bajas de la zona de circulación de los oeste y del frente polar, determina que el Viento Zonda se presente con mayor asiduidad en el periodo Mayo - Noviembre y que mas de la mitad de los casos ocurran entre Mayo y Agosto, en invierno.

El método de detección de días de Viento Zonda utilizando los datos horarios de las secuencias sinópticas permite obtener una información mas detallada de la evolución de los parámetros asociados al fenómeno. En las ciudades analizadas con este método, el Viento Zonda tiende a soplar con mayor frecuencia en la tarde, alrededor de la hora de registro de la temperatura máxima y con menor frecuencia en la madrugada, con un mínimo a la hora de salida del sol.

El calentamiento diurno influye sobre el aire frío subyacente en capas bajas disminuyendo su contraste térmico, permitiendo la irrupción del viento en el llano.

Este efecto también condiciona las horas de comienzo y finalización del evento en las estaciones meteorológicas.

Se nota una mayor incidencia del Viento Zonda en San Juan que en Mendoza, tanto en frecuencia como en intensidad media. Esto puede deberse a la situación particular de ambas estaciones respecto del relieve detallado de la precordillera.

La dirección de las ráfagas máximas registradas en cada evento presenta una mayor componente meridional en San Juan (la que disminuye hacia el sur), presentando una componente del oeste predominante en San Rafael, posiblemente también por influencia del relieve de la cordillera y la precordillera.

Las ráfagas máximas mas intensas corresponden a San Juan y El Plumerillo.

El método indirecto del Zonda térmico, implementado para caracterizar la ocurrencia de Viento Zonda en estaciones de montaña carentes de anemógrafos es aceptable en tanto permite detectar al menos la iniciación de los casos reales bien definidos.

La estación Vallecitos se considera óptima para estos fines dada su ubicación geográfica y el conjunto de fenómenos meteorológicos que en ella se registran, determinantes de la existencia de tres estaciones climáticas bien diferenciadas.

El método del Zonda hídrico supera al térmico en tanto identifica mejor los casos de Viento Zonda real.

La distribución de frecuencia de horas con Zonda térmico o hídrico presenta máximos en invierno.

Muchos casos de Zonda térmico de verano obedecen a factores distintos al Zonda real y en invierno el aire exento de humedad no está suficientemente cálido para denotar Zonda térmico.

Inversamente a lo que sucede en el llano, las horas de mayor frecuencia de Zonda en Vallecitos corresponden a las inmediatas posteriores a la salida del sol pudiendo ser esto consecuencia del efecto de brisa montaña - valle.

El Viento Zonda en la montaña puede presentar periodos continuos o pulsantes, estos últimos consecuencia de la mayor rafagosidad del Zonda a esas alturas. Los pulsos se detectan indistintamente por efectos térmicos o hídricos.

La frecuencia de Viento Zonda de altura deducida a partir del método hídrico supera ampliamente a la frecuencia de Viento Zonda en el llano.

## CAPITULO 3

### A. EL VIENTO ZONDA DEL 23 DE AGOSTO DE 1983

#### 3.1 INTRODUCCION

Para analizar exhaustivamente la estructura tridimensional del fenómeno del Viento Zonda, se seleccionó un caso típico, de moderada intensidad, ocurrido en la provincia de San Juan y norte de la de Mendoza, que llegó a las ciudades capitales de ambas provincias, en horas de la tarde del día 23 de agosto de 1983. Se eligió esta situación porque además de considerarse como un caso típico presentando las condiciones más frecuentes en el área, se contaba con datos completos para su análisis.

En la ciudad de San Juan la temperatura se elevó a 31°, la humedad relativa descendió hasta 10%, las ráfagas del viento alcanzaron una velocidad máxima de 60 km/h y su duración fue de 10 horas.

En la ciudad de Mendoza la temperatura llegó a 28.3°, la humedad relativa descendió a 21%, las ráfagas no superaron los 50 km/h y duró 4 horas, no provocando daños de relevancia.

En esta zona, el viento aparece en precordillera poco tiempo antes de hacerlo en el llano y no se extiende a más de 30 km al este del piedemonte.

#### 3.2 LA SITUACION SINOPTICA

Generalmente el tiempo meteorológico en mesoescala está forzado por la circulación de gran escala o de escala sinóptica (Hoinka, K.P. 1985). En la figura 3.1 puede observarse la ocurrencia del fenómeno del 23 de Agosto en relación a la fase de las ondas en altura.

El fenómeno ocurre cuatro días después del pasaje de una cuña de onda larga de 15 días de duración (considerando a las cuñas como sus extremos) al pasar por la longitud del lugar el eje de una vaguada de onda corta (mínimo) el día 23. El máximo siguiente (día 25) corresponde al fenómeno local conocido como "pausa sinóptica" (Norte, F.A., 1984c) que consiste en una mejora temporal del estado del tiempo en el norte de la provincia de Mendoza, determinada por una zona de alta presión migratoria.

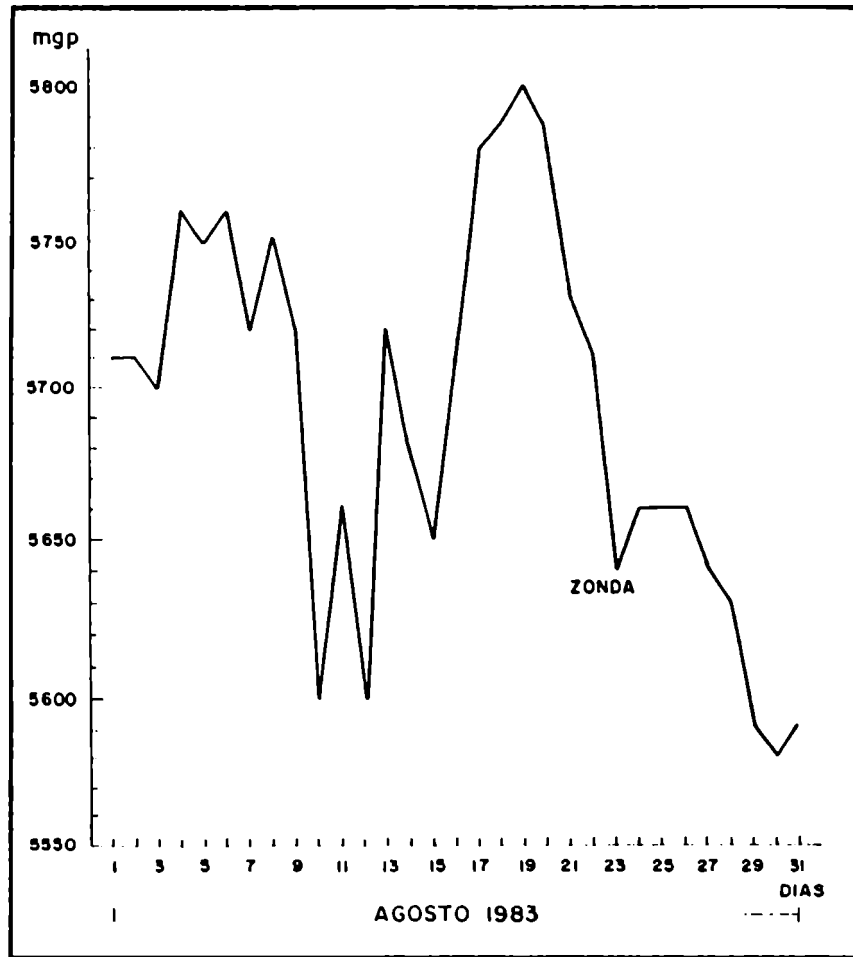


Fig. 3.1: Marcha de la altura de la superficie isobarica de 500 hPa de El Plumerillo del 15/7/83 al 15/9/83 a las 12 UTC.

### 3.2.1 Condiciones previas

En superficie, el día 19 de Agosto se observa un anticiclón sobre la Península de Valdez (Fig 3.2) cuyo posterior desplazamiento al noreste está facilitado por una corriente conducente del sudoeste en capas altas, correspondiente a la parte delantera de una cuña extendida a todos los niveles de la tropósfera superior cuyo eje está a unos 600 km al Oeste de la costa del Océano Pacífico en 500 hPa (Fig. 3.3).

El día 20 el anticiclón comienza a debilitarse lentamente (Fig 3.4) y el eje de cuña se desplaza hacia el Este (Fig 3.5) ubicándose sobre el continente.

El día 21 el anticiclón migratorio continúa su desplazamiento, se establece un flujo del norte en la región central del país (Fig 3.6) y se inicia en superficie la formación de la Depresión del Noroeste Argentino (DNOA) (Lichtenstein, E.R. 1980), mientras que en las capas superiores comienzan a resir en Cuyo condiciones de parte delantera de vauada (PDV) (Fig. 3.7).

El día 22 (Fig 3.8), se intensifica el flujo del norte y se profundiza la DNOA incrementándose las condiciones de PDV (Fig 3.9).

Durante los días previos al fenómeno hubo en la Patagonia un pasaje sucesivo de centros de alta y baja presión propio de un sistema de Bjerkness.

Mediante el campo de temperatura potencial adiabática equivalente se identifican las distintas masas de aire que actúan en estos días. Una masa de aire persistente de origen subtropical domina la región norte y central del país. Se destacan 3 lenguas de aire caliente y húmedo desprendidas de la región chaqueña una de las cuales llega a Cuyo. Otra masa de aire subtropical afecta al centro y sur del Océano Pacífico frente a la costa de Chile (Fig 3.10).

En altura, a 500 hPa (a las 9 HOA), se observa la presencia de la masa de aire superior, separada de la masa de aire subtropical de capas bajas por una inversión (Fig. 3.11)

La carta isalobárica de 24 horas confeccionada tomando como base la distribución de presión de 9 HOA muestra un sistema isalobárico negativo estacionado en las provincias del Litoral (Fig. 3.12).

La foto de satélite disponible en los archivos del SMN correspondiente a las 16 HOA del día 22 (Fig. 3.13) permitió mostrar un neofanálisis donde se distinguen los elementos que se enumeran a continuación:

1. Estratos (ST).
2. Celulares cerrados, estrato-cumulus (SC).
3. Celulares abiertos, cumulus (CU).
4. Celulares cerrados compactos (SC+ST).
5. Cielo claro.
6. SC en bandas.

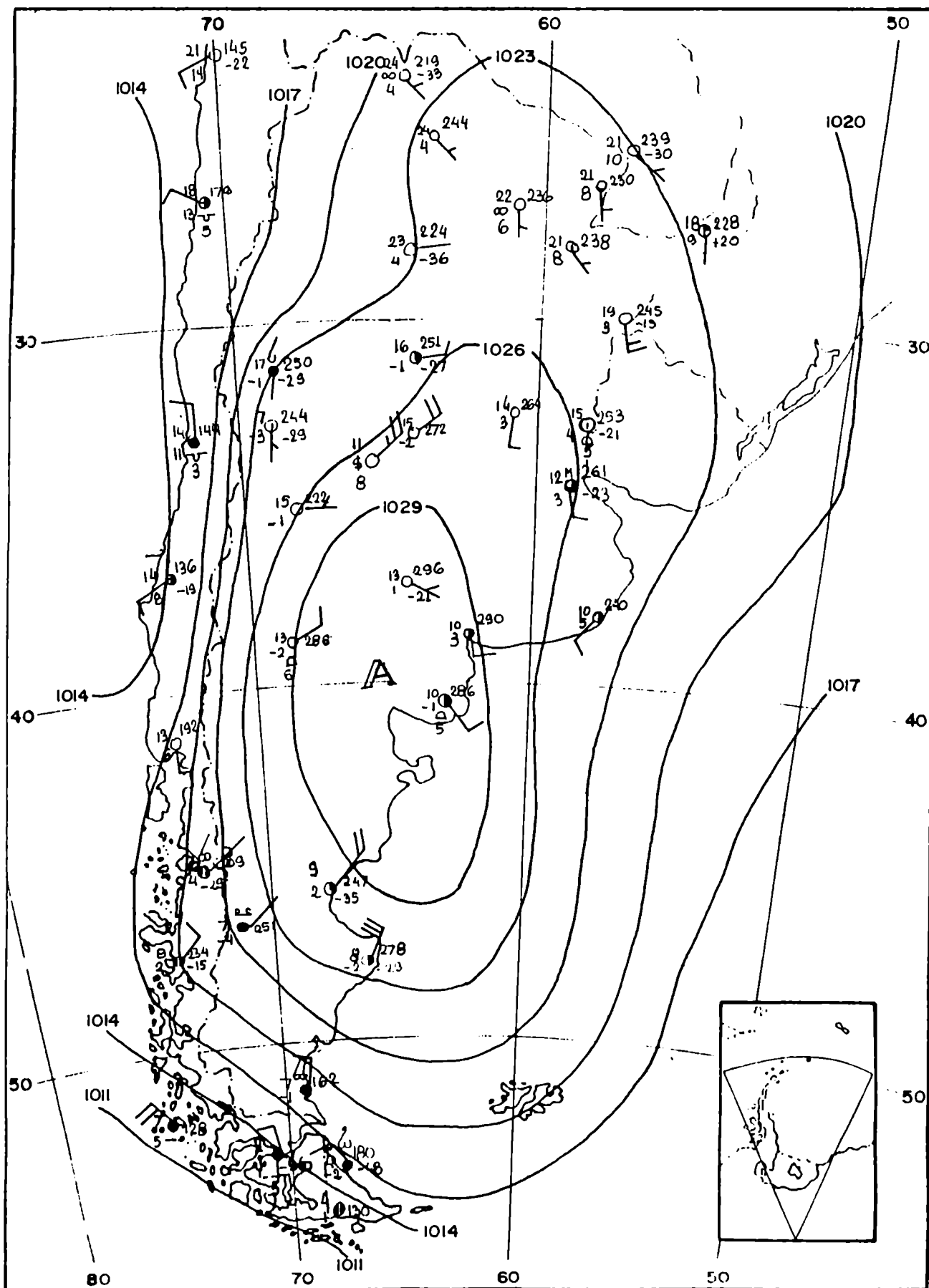


Fig. 3.2: Situación sinoptica de superficie del 19/8/83 a las 18 UTC.



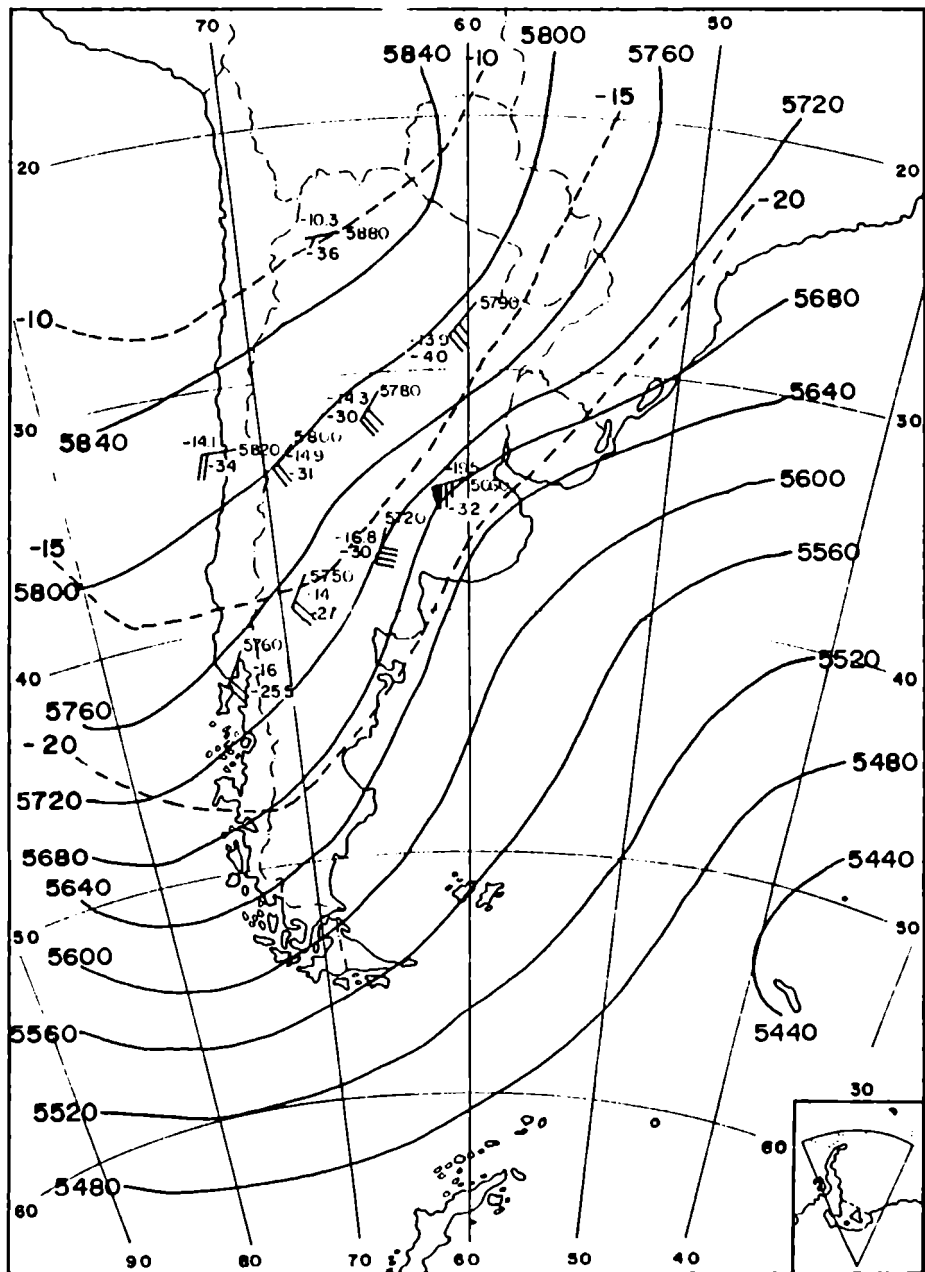


Fig. 3.3: Carta de la superficie de 500 hPa del 19/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mSP).  
 - - - isotermas (oC).

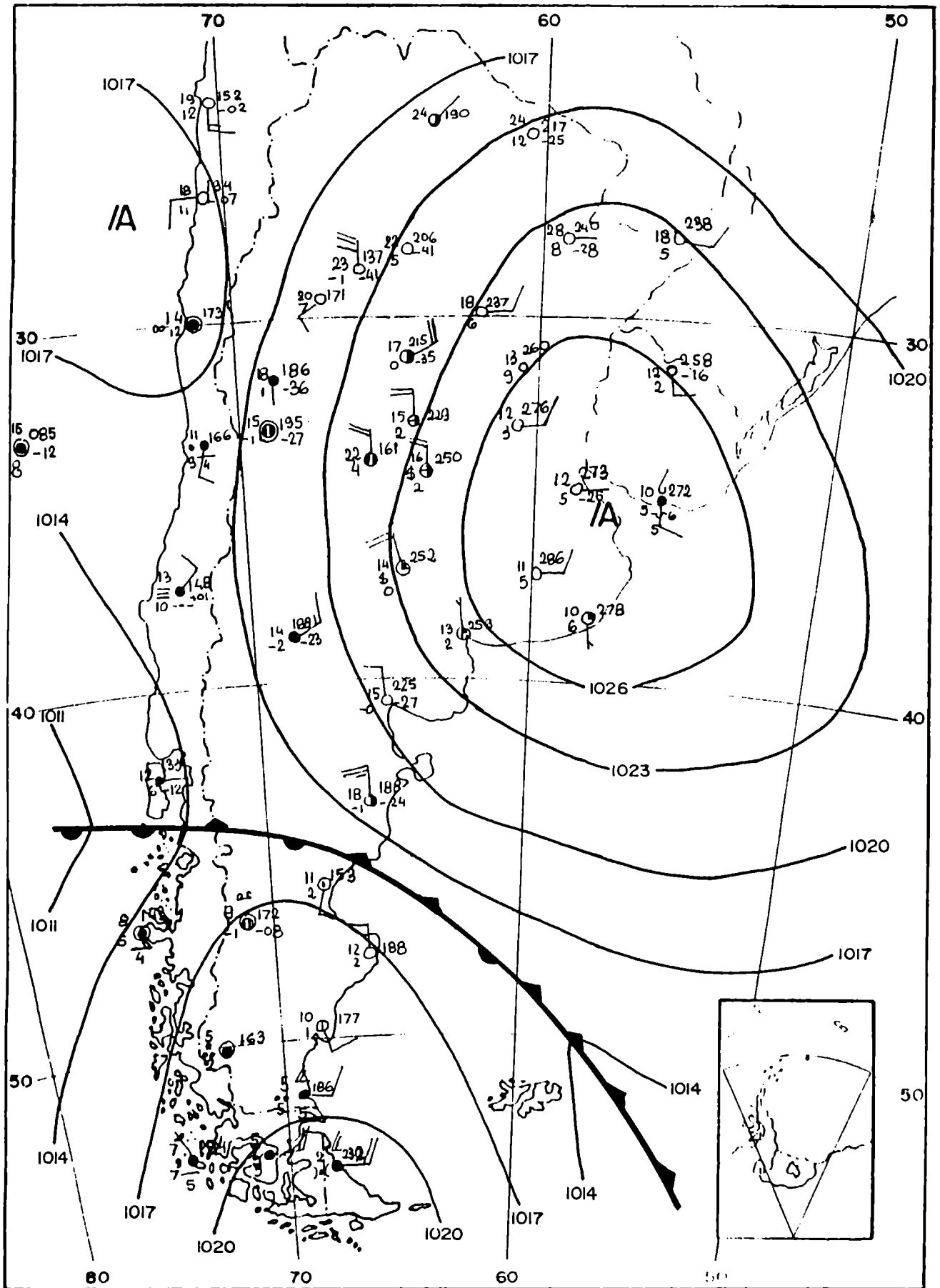
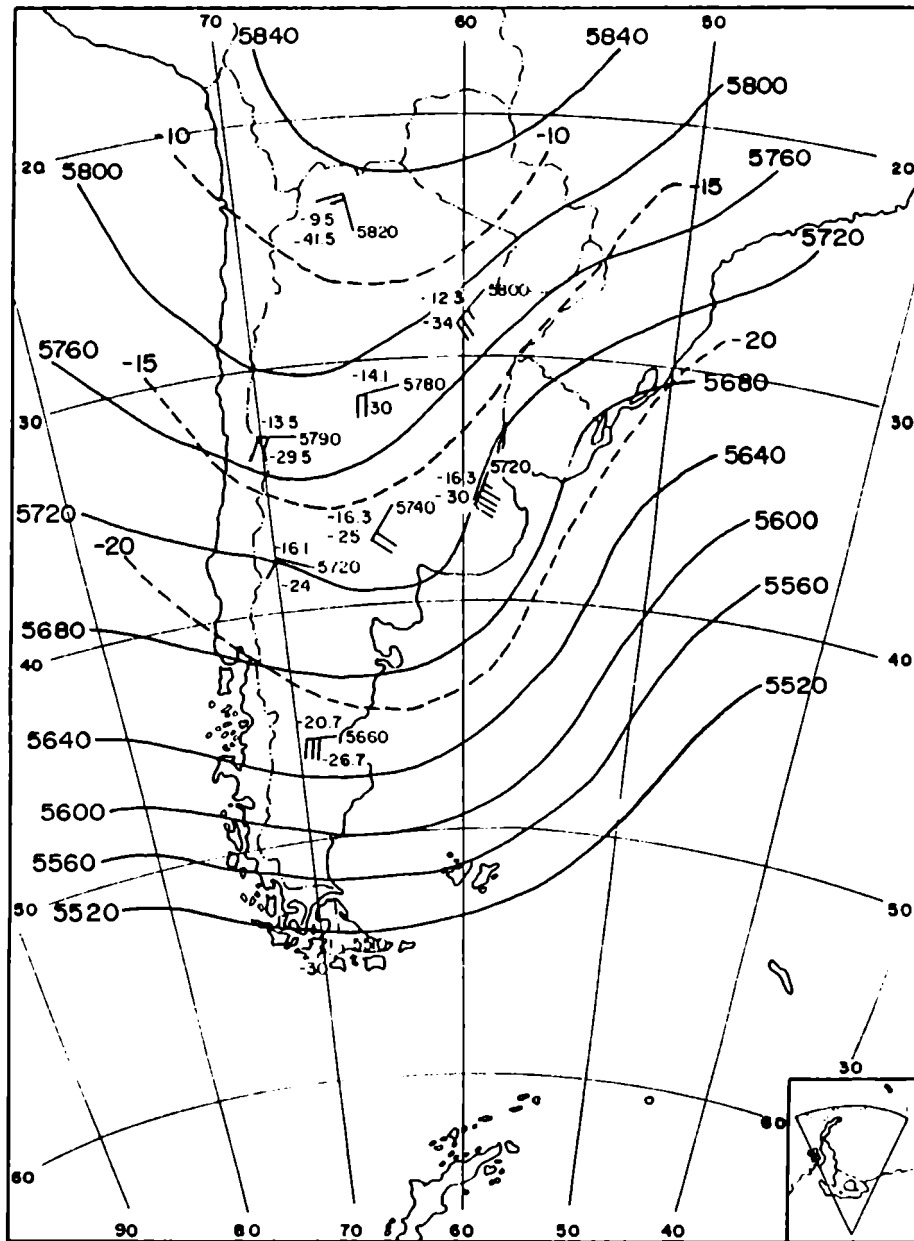


Fig. 3.4: Situación sinóptica de superficie del 20/8/83 a las 18 UTC.



Fis. 3.5: Carta de la superficie de 500 hPa del 20/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mbar),  
 - - - isothermas (C).

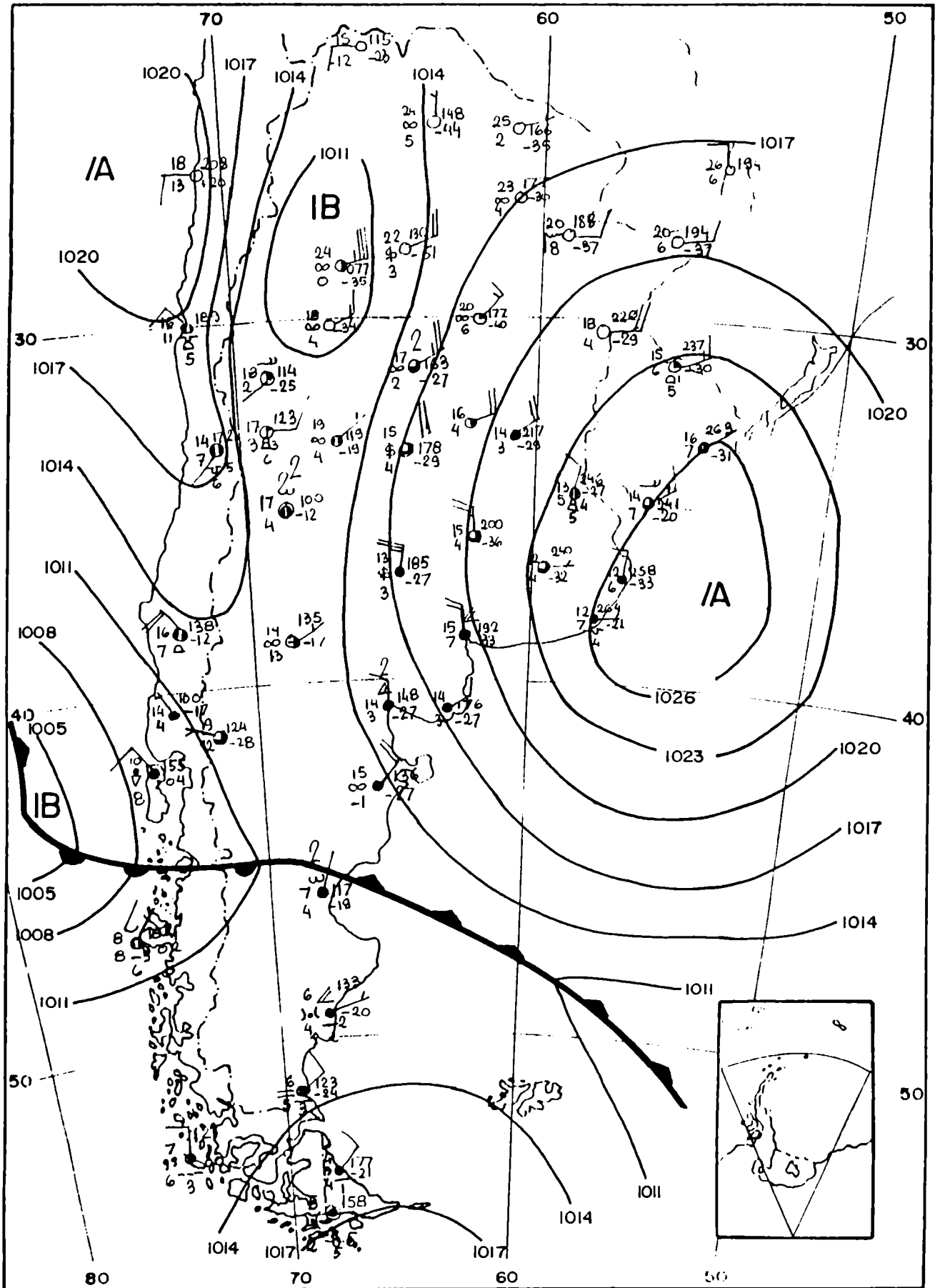


Fig. 3.6: Situación sinóptica de superficie del 21/8/83 a las 18 UTC.

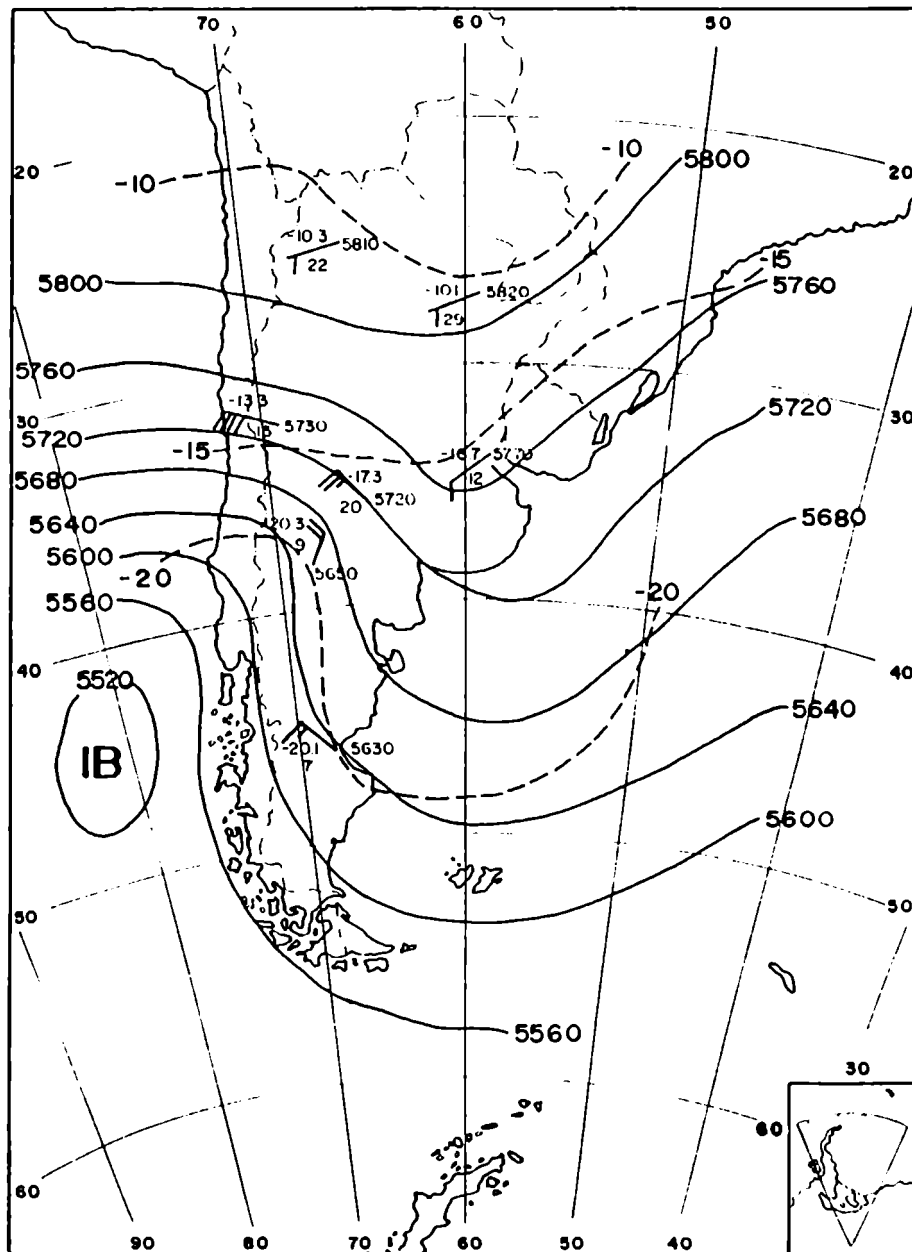


Fig. 3.7: Carta de la superficie de 500 hPa del 21/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mb),  
 - - - isotermas (°C).

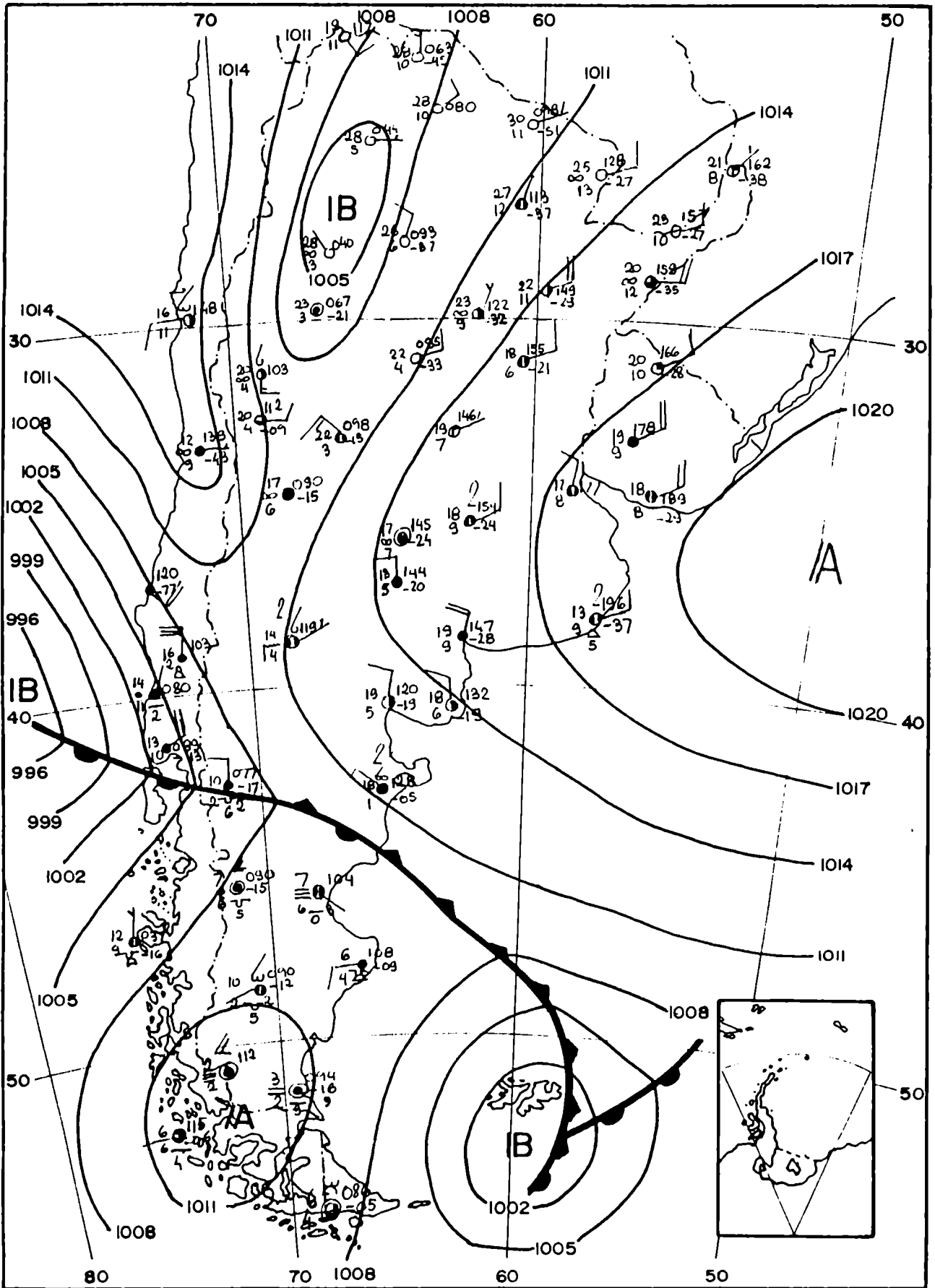


Fig. 3.8: Situación sinóptica de superficie del 22/8/83 a las 18 UTC.

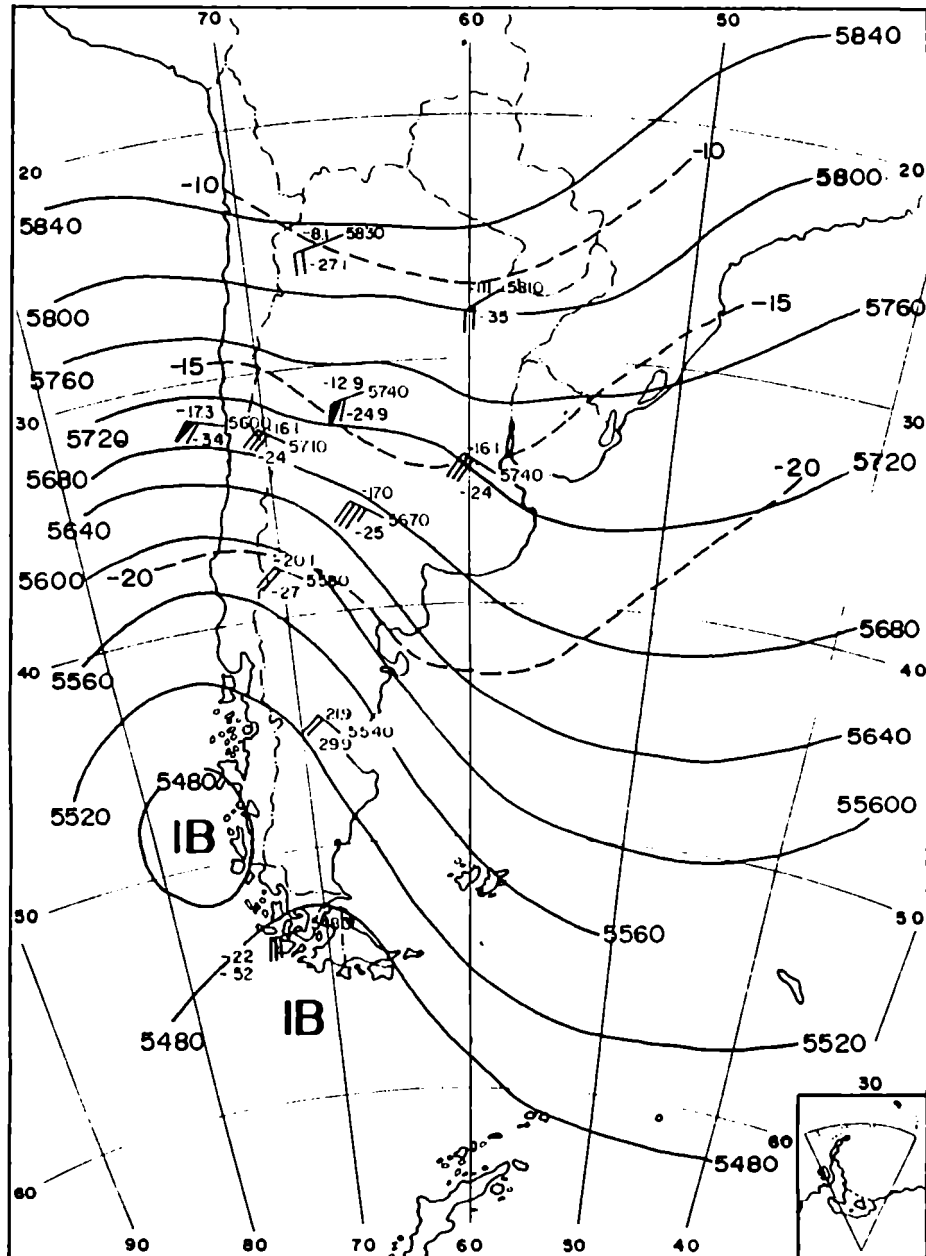


Fig. 3.9: Carta de la superficie de 500 hPa del 22/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mSP),  
 - - - isotermas (oC),

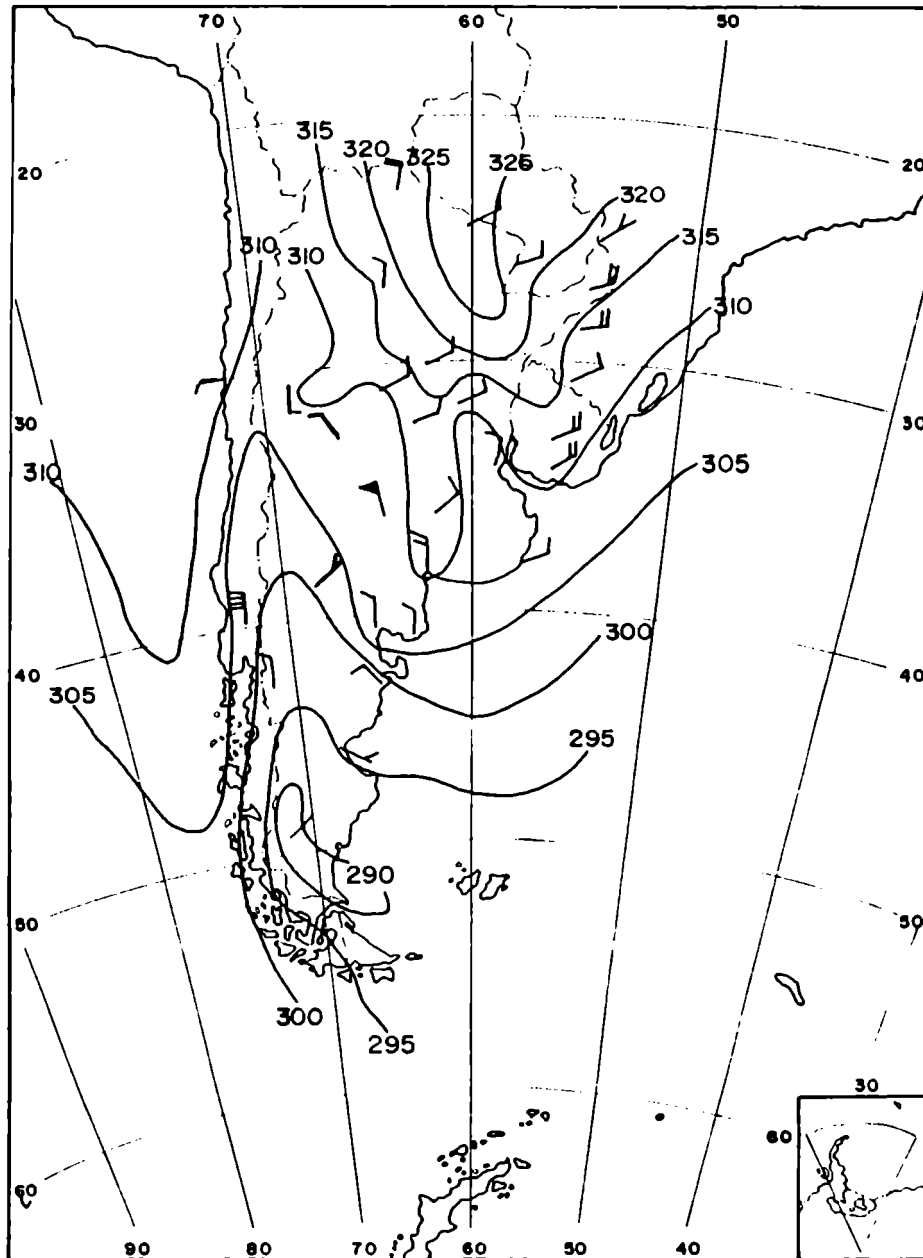


Fig. 3.10: Campo de  $\theta_e$  en superficie del 22/8/83 a las 18 UTC.

— isothermas (oK).



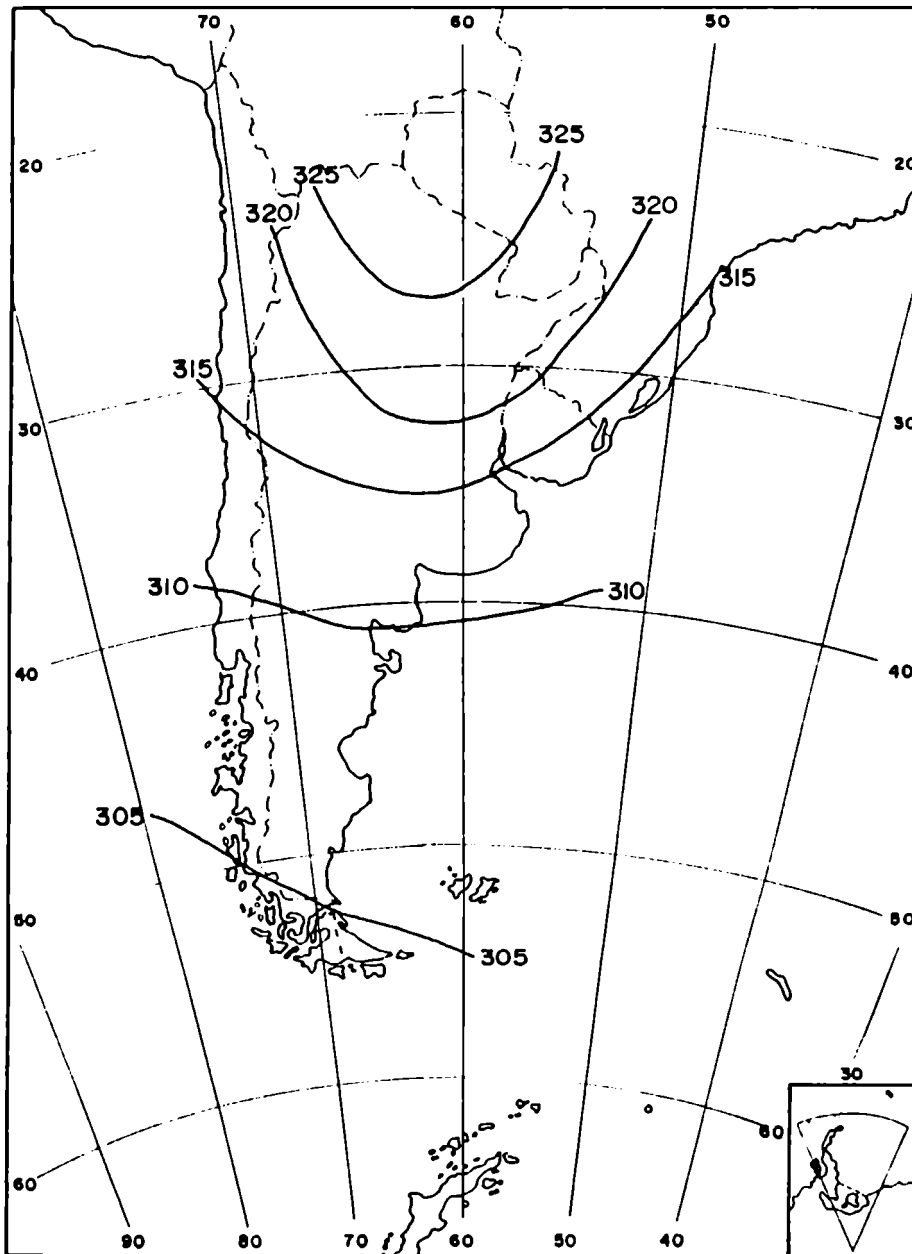


Fig. 3.11: Análisis de  $\theta_e$  en 500 hPa del 22/8/83 a las 12 UTC.

— isothermas (oK).

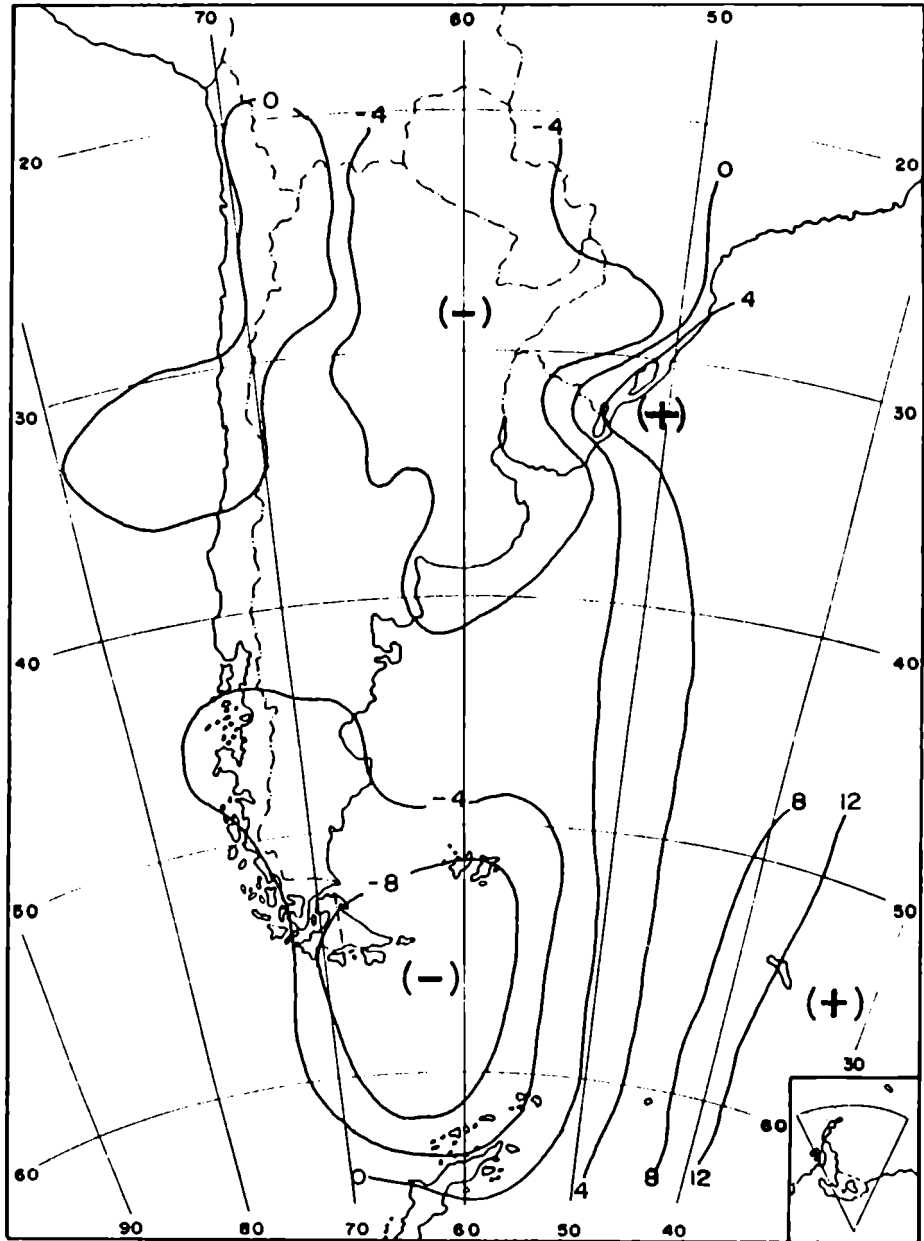


Fig. 3.12: Carta isalobárica de 24 horas del día 22 de agosto de 1983 a las 12 UTC.

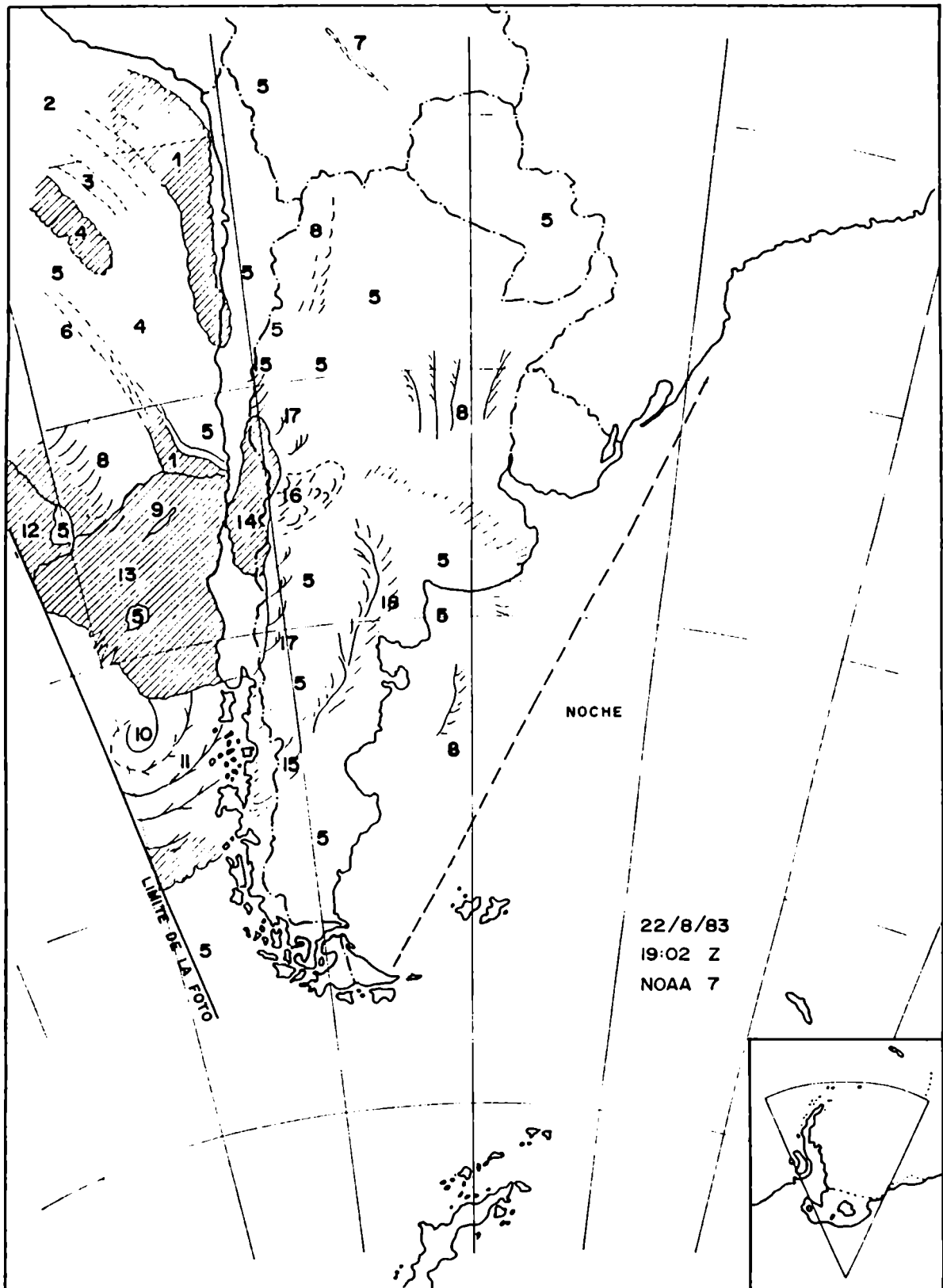


Fig. 3.131 Nefoanálisis del día 22/8/83.

7. CU en la falda oriental del altiplano.
8. Cirrus (CI).
9. Franja clara (se ve el mar).
10. Centro de la depresión.
11. Alto-estratos (AS) y alto-cumulus (AC) 'vertebratus' en un contexto de capas múltiples que dejan ver en parte al mar.
12. AS.
13. Campo compacto de cirro-estratos (CS) y AS (en varias capas).
14. CS orográfico compacto.
15. CI orográfico.
16. CI denso formando una protuberancia que emerge desde la cordillera hacia el ENE.
17. Cirrus emergente de la nubosidad orográfica.
18. Larga vertebra cirrosa (con orientaciones distintas de los 'flequillos' a ambos lados).

### 3.2.2 Condiciones el día de Viento Zonda

La carta de superficie a 9 HOA del día 23 es semejante a la de otras situaciones analizadas (Fig. 3.14) cuando el viento Zonda aparece o está a punto de hacerlo en estaciones del piedemonte o del llano cuyano (Norte, F.A., 1982; ).

En la carta de 850 hPa (Fig. 3.15) se identifica la distribución de vapor de agua, observándose un núcleo cerrado de humedad elevada a barlovento, y otro de aire seco a sotavento de la cordillera. La diferencia de humedad entre Quintero (Chile) y El Plumerillo (Argentina) continua manifestándose en niveles superiores (700 hPa) (Fig. 3.16), desapareciendo en 500 hPa (Fig. 3.17).

Un frente frío se encuentra ahora próximo a la cordillera asociado a una depresión migratoria ubicada frente a las costas de Chile la que se desarrolla hasta 250 hPa (Fig. 3.18).

En 230 hPa una corriente en chorro cruza el continente desde El Plumerillo a Ezeiza con viento de los 320 a 110 nudos y de los 270 a 90 nudos respectivamente.

La mayor concentración de baroclinicidad está sobre la provincia de San Juan según la carta de espesores 500/1000 hPa (Fig. 3.19). Se muestran también las condiciones sinópticas de superficie (Fig. 3.20) cuando el viento ya está soplando en la ciudad de Mendoza y alrededores (a las 15 HOA).

En el campo de  $\theta_e$  de superficie se distingue que la masa de aire frío se halla el día 23 ubicada al sur de la provincia de Mendoza y al noroeste de la Patagonia (Fig. 3.21). El campo de  $\theta_e$  en 500 hPa muestra que la masa

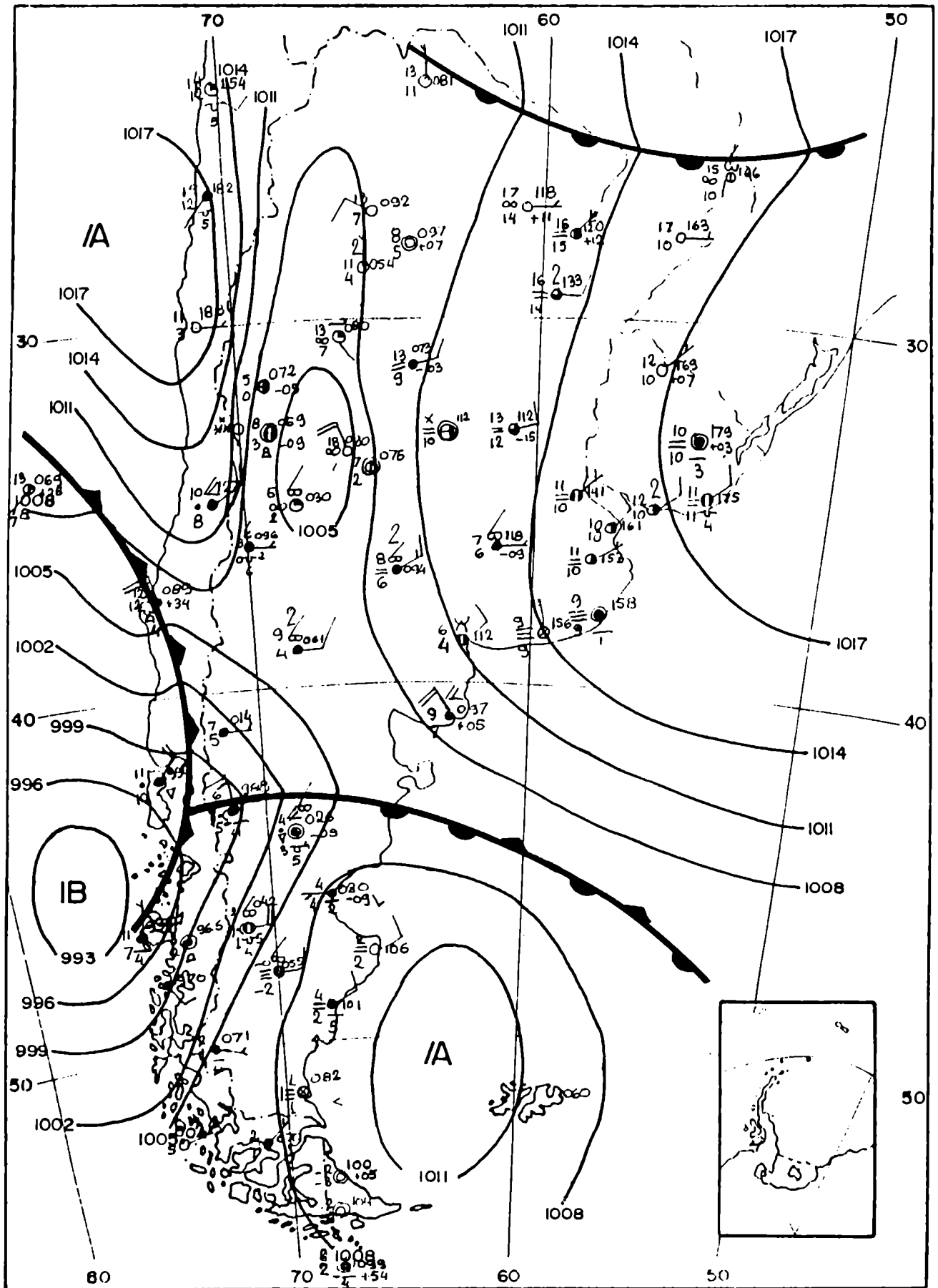


Fig. 3.14: Situación sinóptica de superficie del 23/8/83 a las 12 UTC.

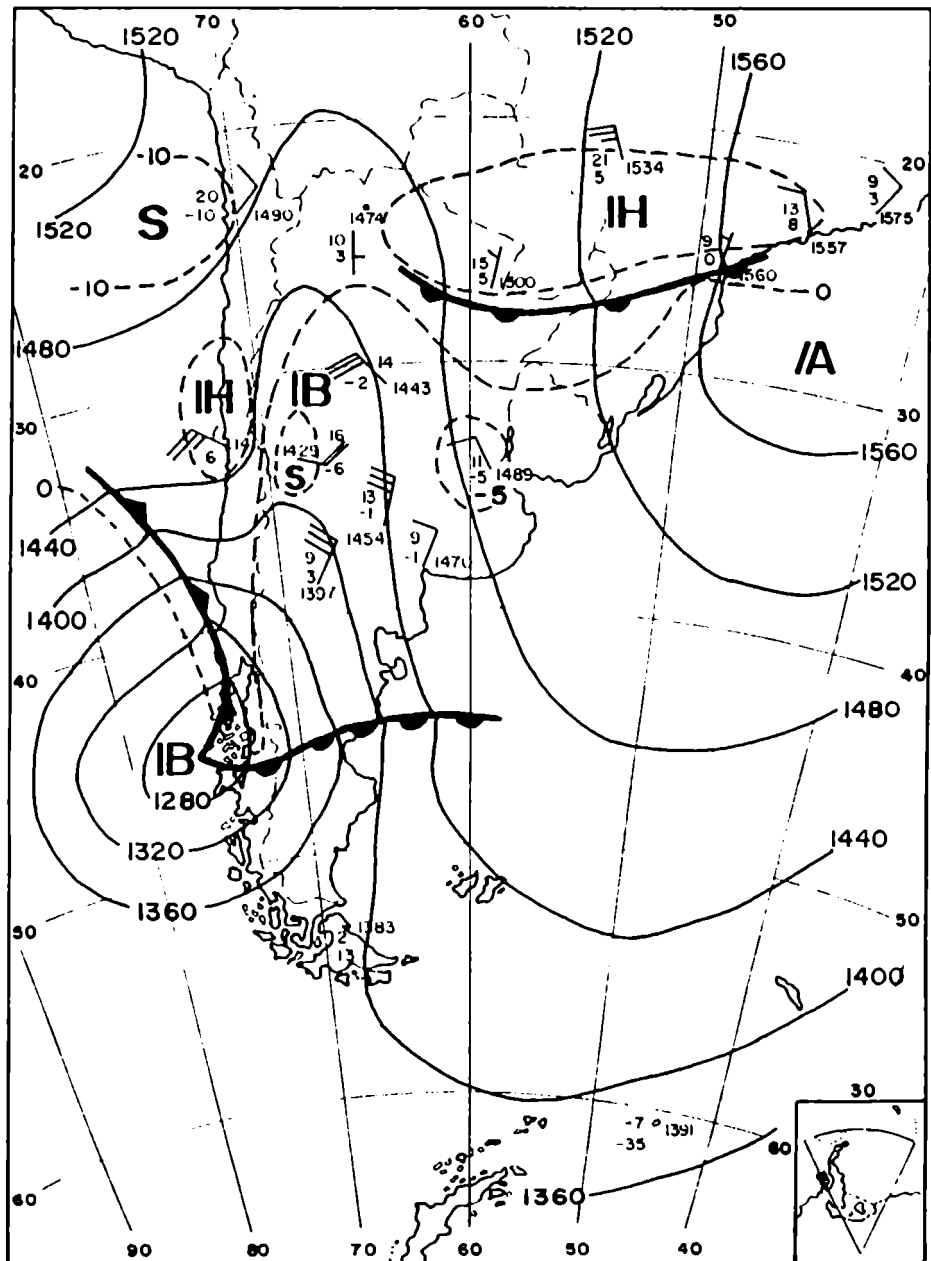


Fig. 3.15: Carta del nivel de 850 hPa del 23/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (msP).  
 - - - isotermas (oC).  
 H núcleo húmedo,  
 S núcleo seco.

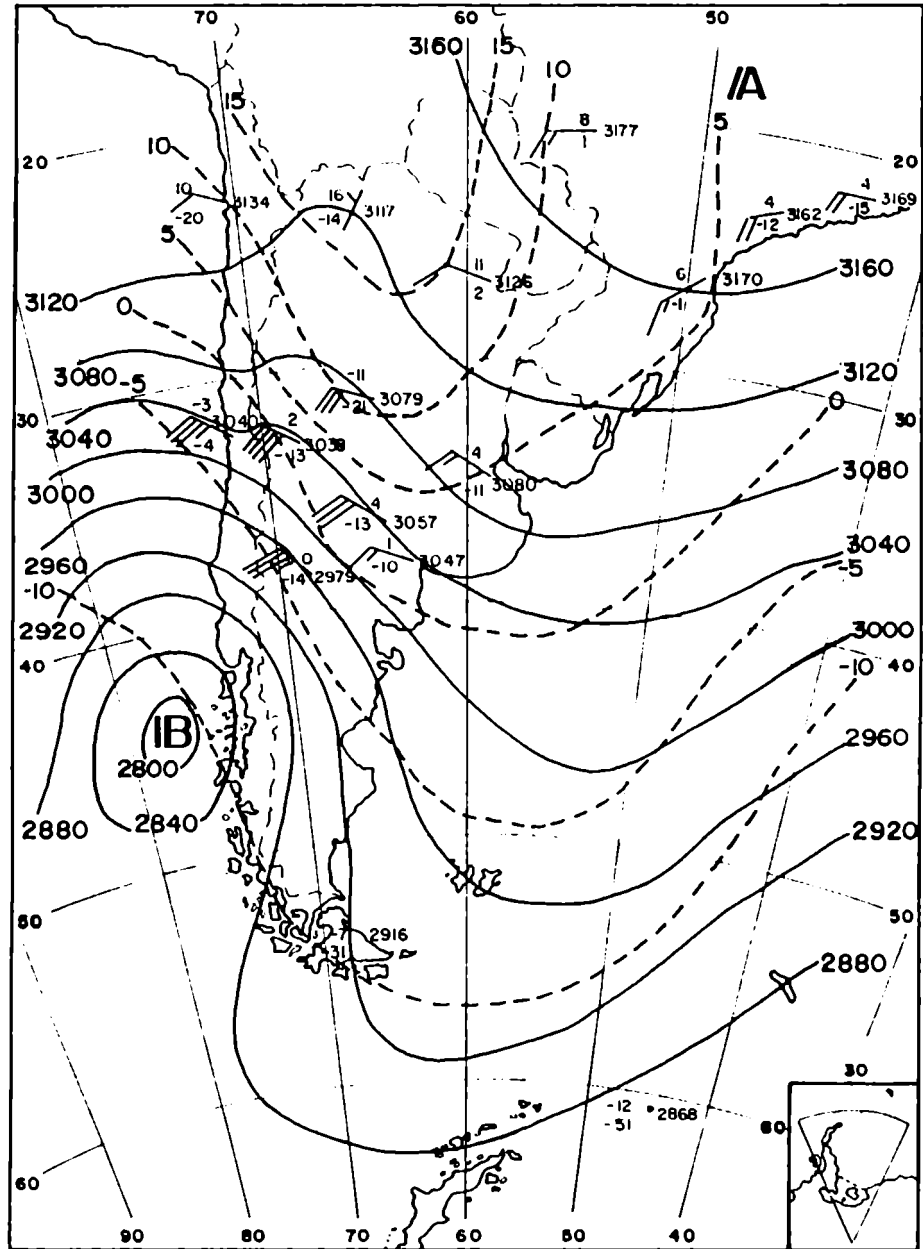


Fig. 3.16: Carta del nivel de 700 hPa del 23/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mSP),  
 - - - isotermas (oC).

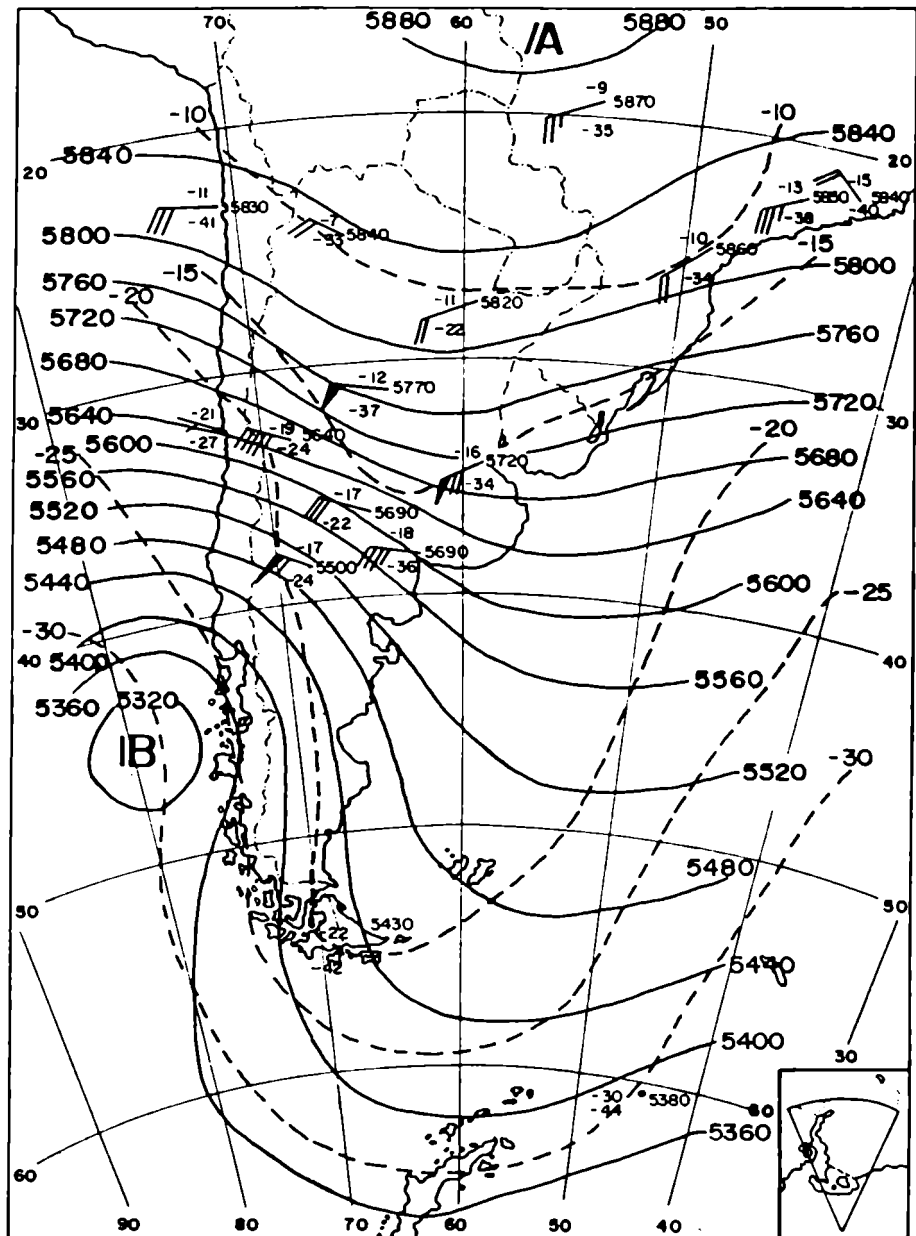


Fig. 3.17: Carta del nivel de 500 hPa del 23/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mSP).  
 - - - isotermas (oC).



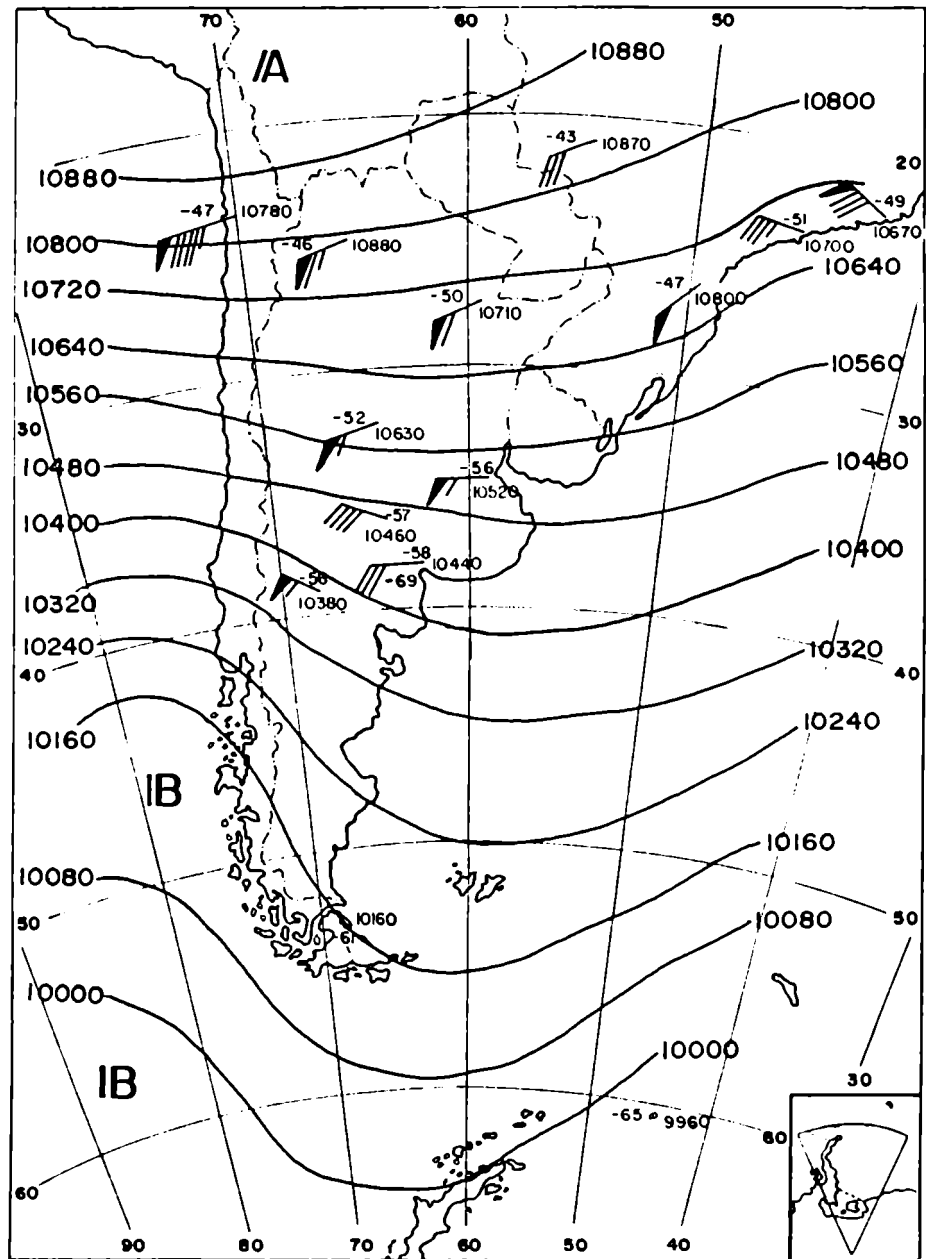


Fig. 3.18: Carta del nivel de 250 hPa del 23/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mgp)

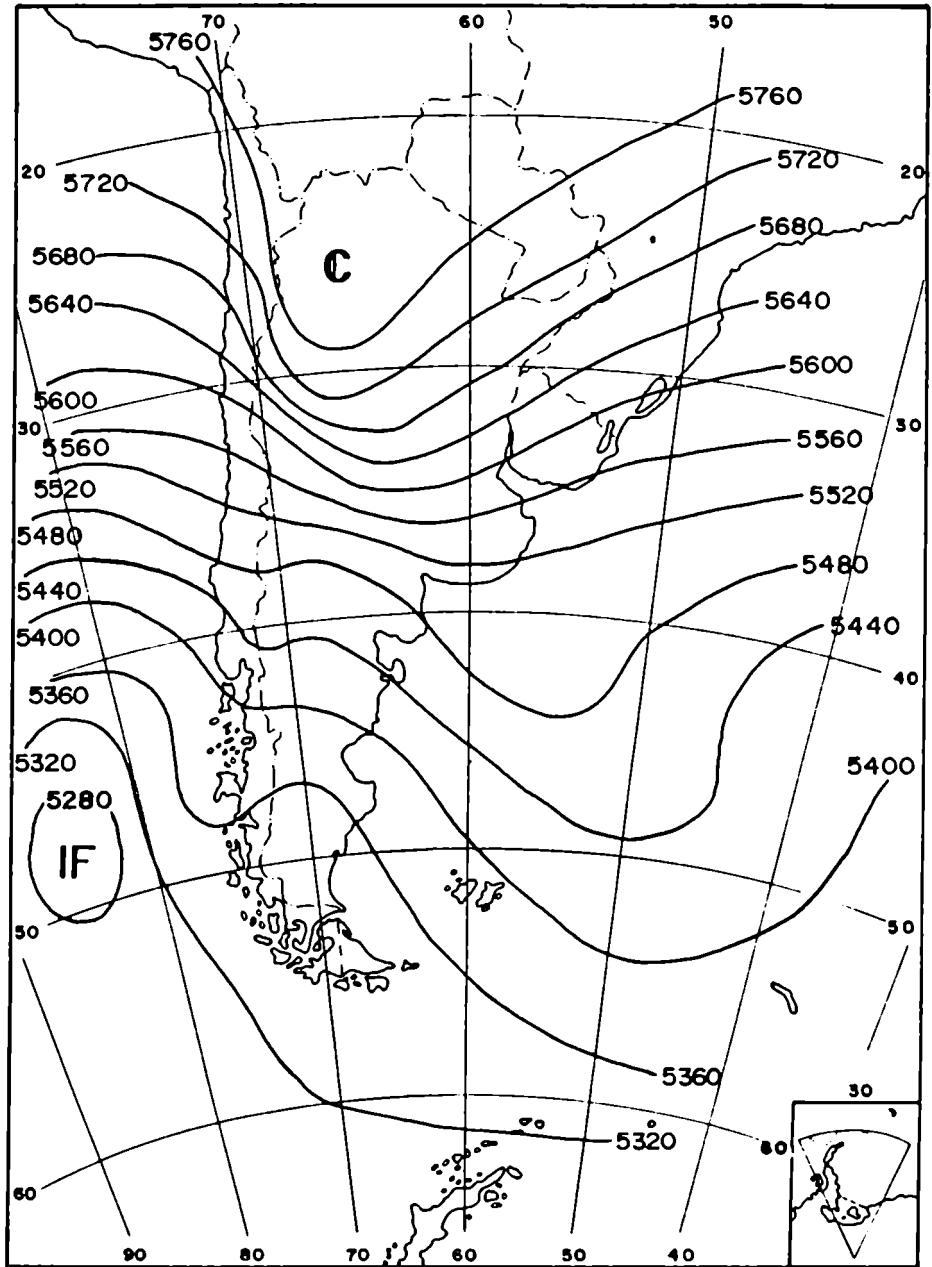


Fig. 3.19: Carta de espesores 500/1000 hPa del 23/8/83 a las 12 UTC.

— isohipsas (mSP).  
 C núcleo caliente.  
 F núcleo frío.

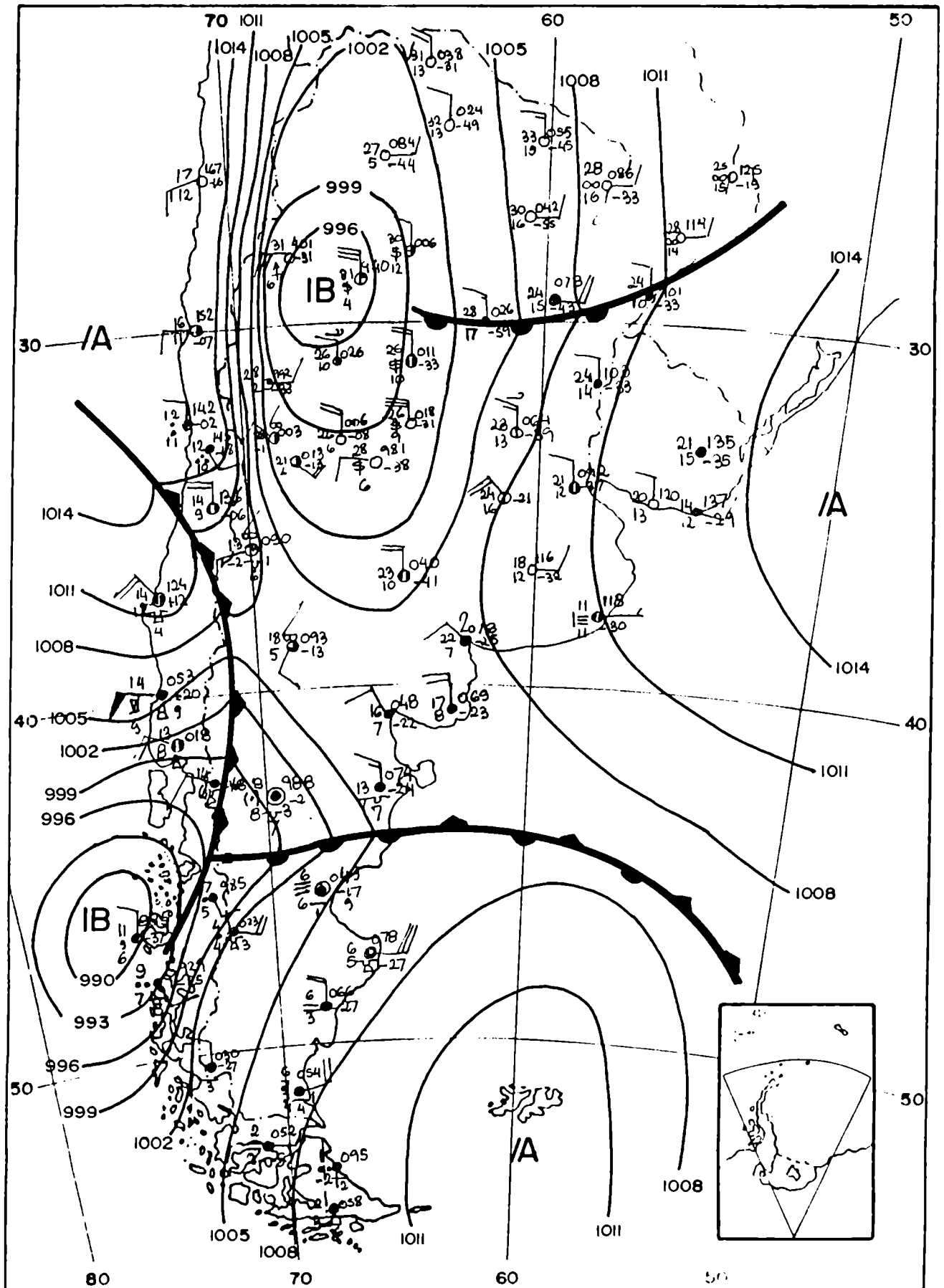


Fig. 3.20: Situación sinóptica de superficie del 23/8/83 a las 18 UTC.

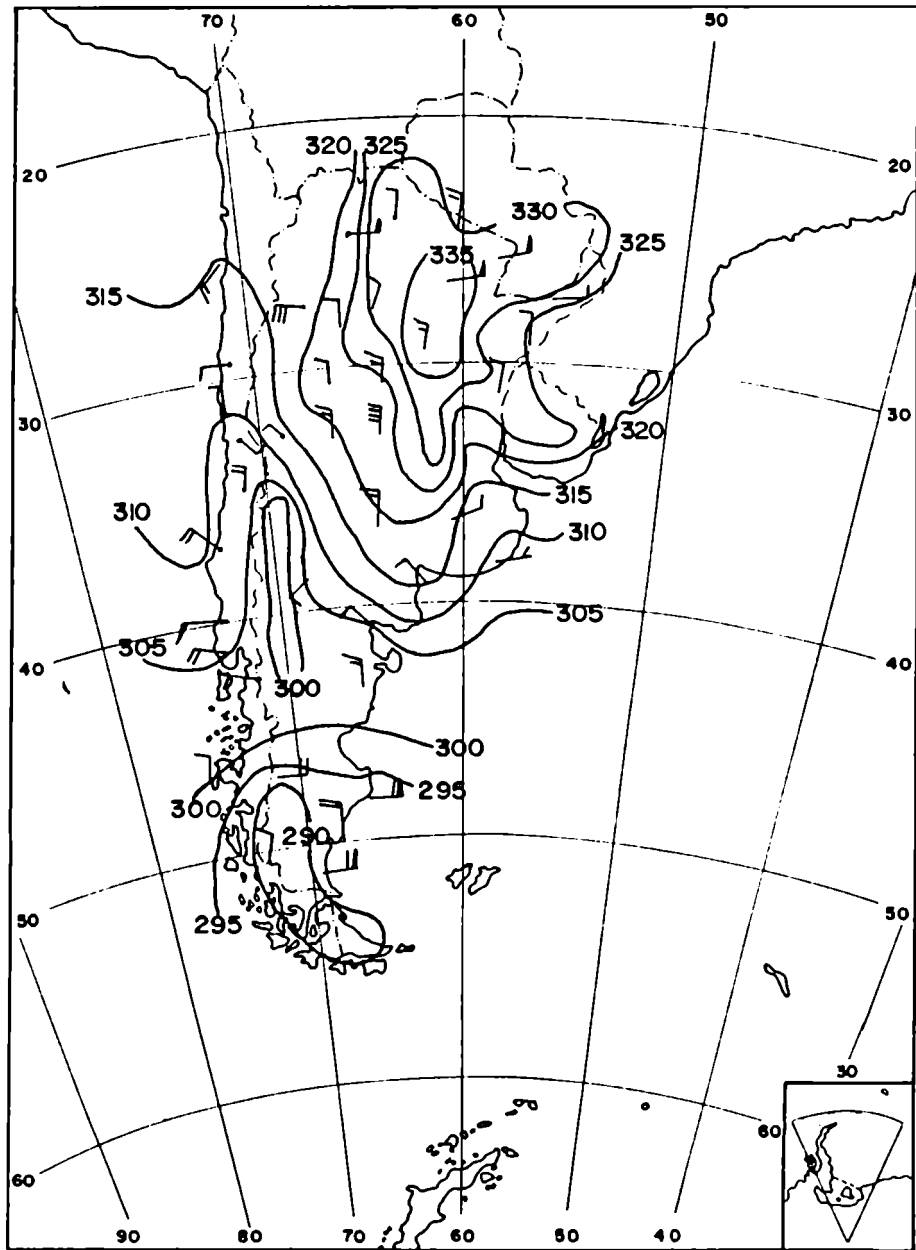


Fig. 3.21: Campo de  $\theta_e$  en superficie del 23/8/83 a las 18 UTC.

— isothermas (°K).

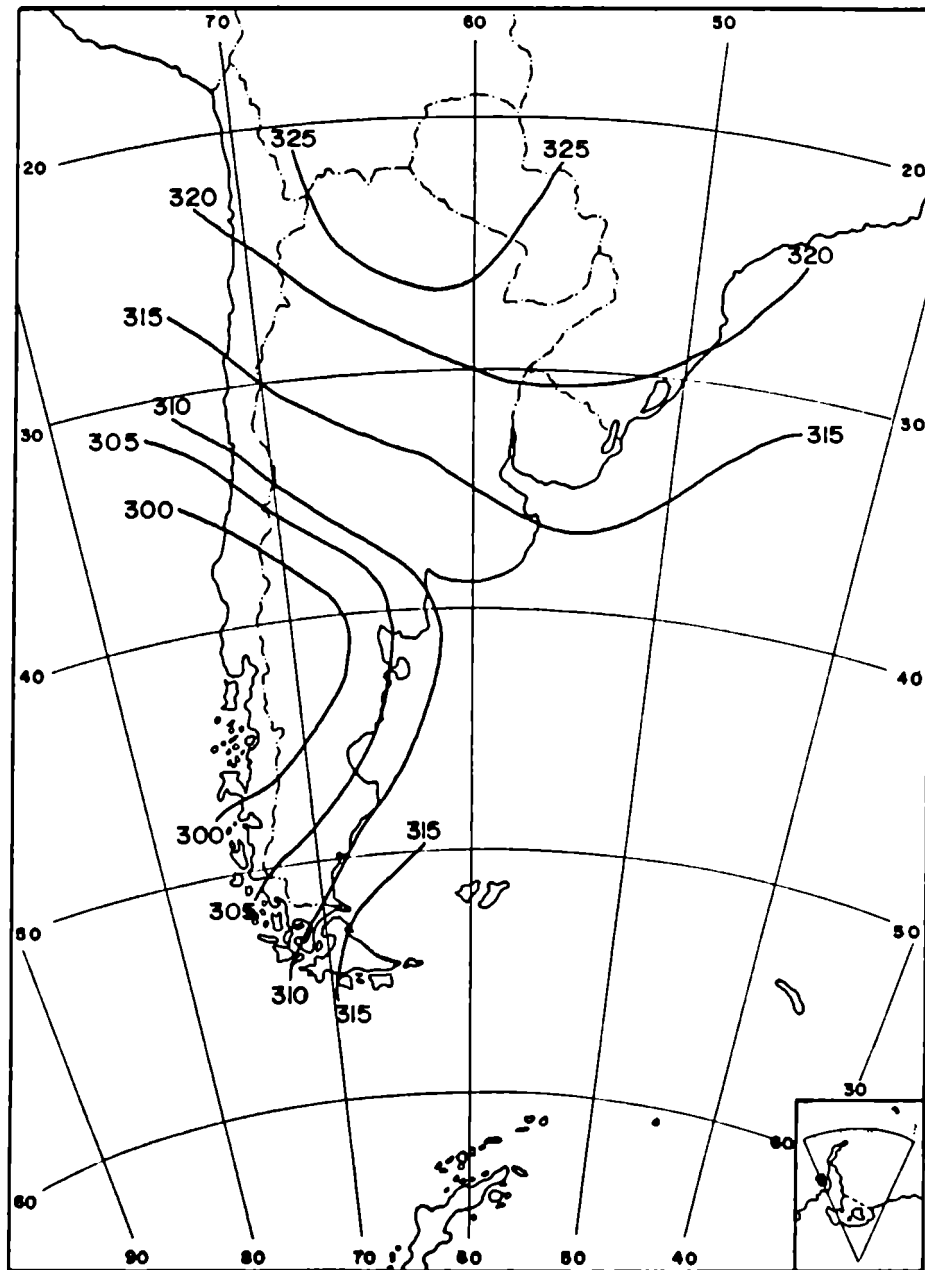


Fig. 3.22: Analisis de  $\theta_e$  en 500 hPa del 23/8/83 a las 12 UTC.

— isothermas (oK).

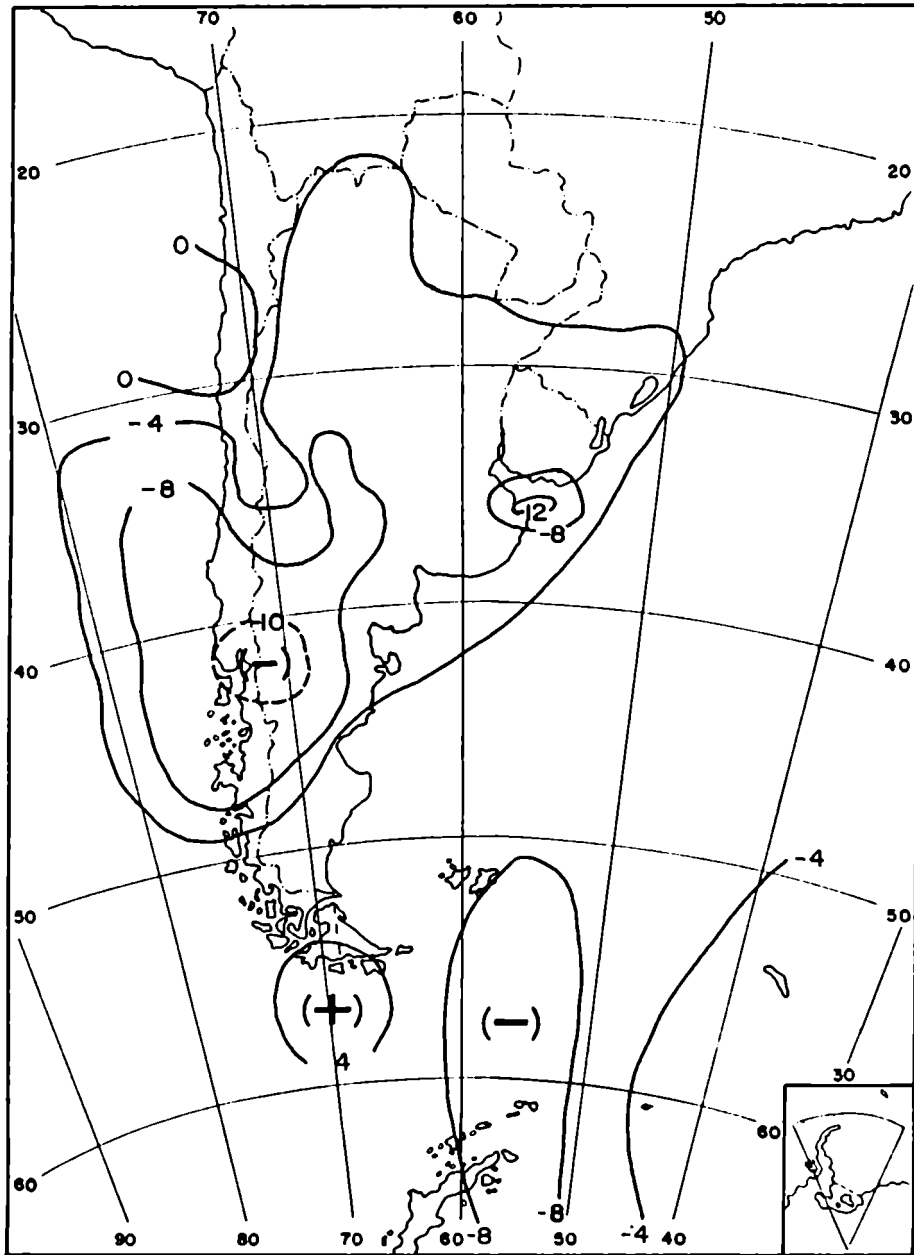


Fig. 3.23: Carta isalobarica de 24 horas del dia 23 de agosto de 1983 a las 12 UTC.

de aire superior es desalojada lentamente por la de aire frío que está avanzando sobre el continente a la latitud de 40° S (Fig 3.22).

La persistencia de advección de aire caliente y húmedo, así como la aproximación de un frente caliente desde el Norte continúa manifestándose en el sistema isalobárico negativo que está estacionado en las provincias del Litoral antes de la ocurrencia de zonda en el llano (Fig 3.23).

La súbita intensificación de tendencias negativas el día 23 en Cuyo, indican el desplazamiento de la DNOA hacia el sur de su posición habitual y en Puerto Montt, Juan Fernandez y la costa chilena central, la aproximación de la depresión migratoria mencionada.

### 3.2.3 Condiciones posteriores

Con el pasaje del frente frío desde el sur de Mendoza finaliza en forma repentina el Viento Zonda a las 18 HOA en la ciudad de Mendoza.

El día 24 (Fig. 3.24) una nueva depresión en 48° S y 80° O determina la persistencia del mal tiempo en la región central y meridional de Chile.

Esto indica que el frente frío está asociado con el paso de una onda cortadentro de una vauada de onda larga (Fig. 3.1).

La masa de aire frío logra penetrar al norte de Cuyo el día 24 (Fig 3.25) trasladándose hacia el noreste (Fig 3.26) coincidiendo con el leve desplazamiento del centro isalobárico negativo. Ese mismo día otra lengua de aire subtropical del Pacífico reaparece frente a las costas del centro y sur de Chile.

Los núcleos isalobáricos positivos ubicados en la isla Chiloé y en el centro de Cuyo indican el avance del aire frío con posterioridad al fenómeno el día 24 (Fig 3.27).

La sucesión de altas y bajas migratorias se evidencia entre 50° S y 60° S con desplazamientos hacia el sudeste de centros isalobáricos positivos y negativos en forma alternada, durante los 3 días de análisis.

Finalmente luego de la pausa sinóptica de los días 25 y 26, la región es afectada por una situación de advección de aire polar marítimo (APMA) conocida localmente como "sudestada". La vauada de onda larga termina de pasar a principios de setiembre.

## 3.3 ANALISIS DE RADIOSONDEOS

### 3.3.1 A barlovento de Los Andes

En el emagrama de Quinteros (Chile) del día 22 a las 12 UTC (Fig. 3.28) se observa que:

- El aire húmedo que se encuentra entre la superficie del mar y 850 hPa y la inversión de subsidencia de la capa 860/840 hPa se debe a la acción de la corriente marina de Humboldt y el Anticiclón Subtropical del Océano Pacífico.

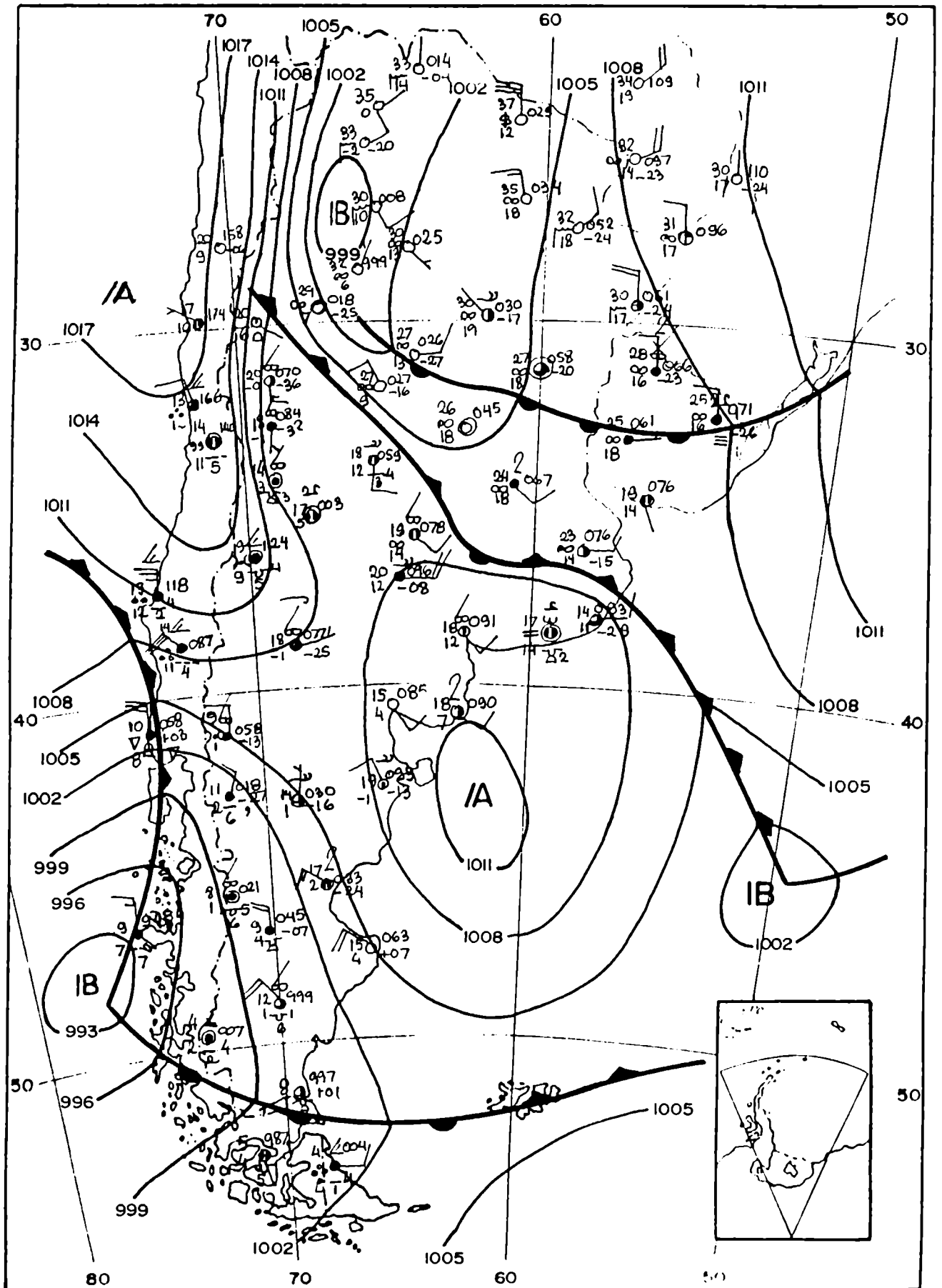


Fig. 3.24: Situación sinoptica de superficie del 24/8/83 a las 18 UTC.



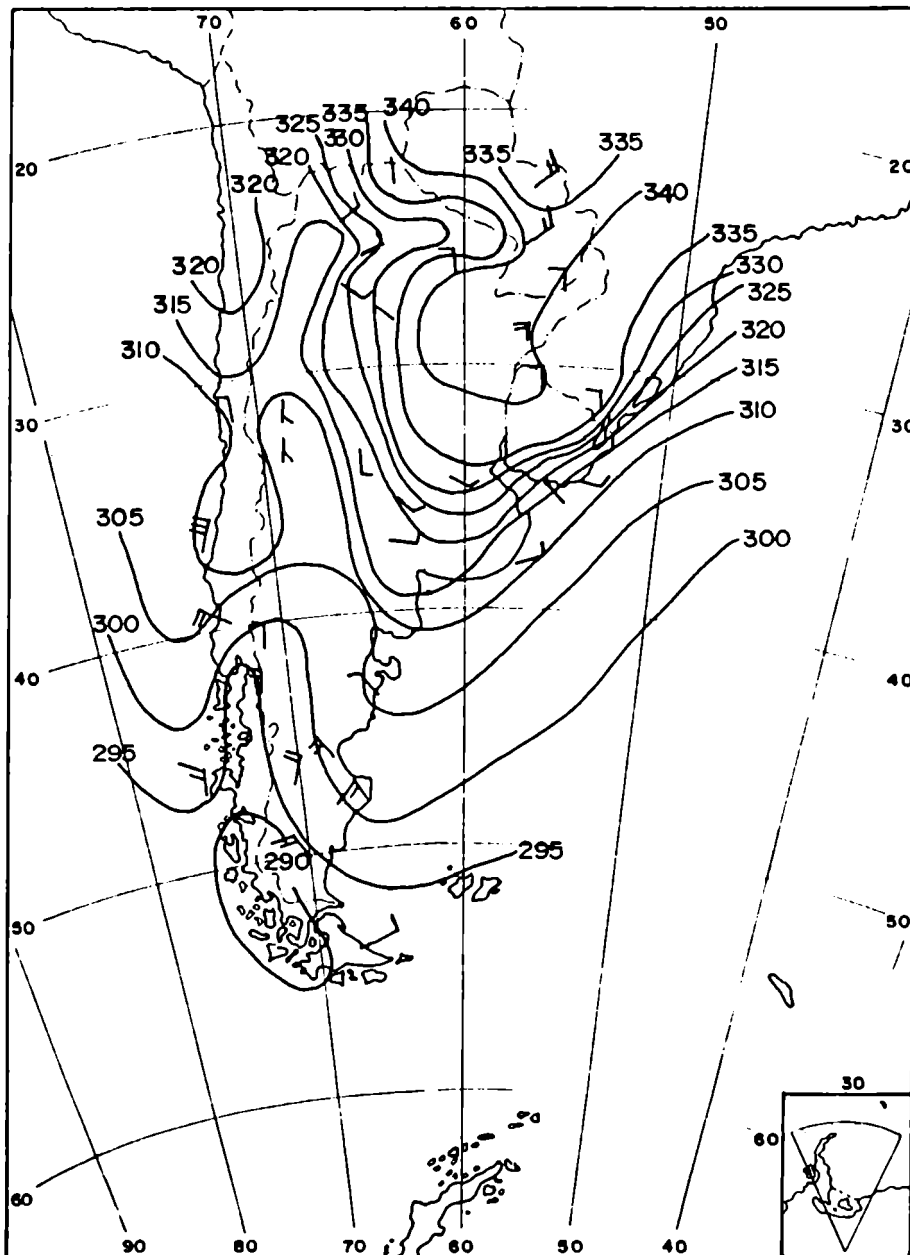


Fig. 3.25: Campo de  $\theta$  en superficie del 24/8/83 a las 18 UTC.

— isothermas (oK).

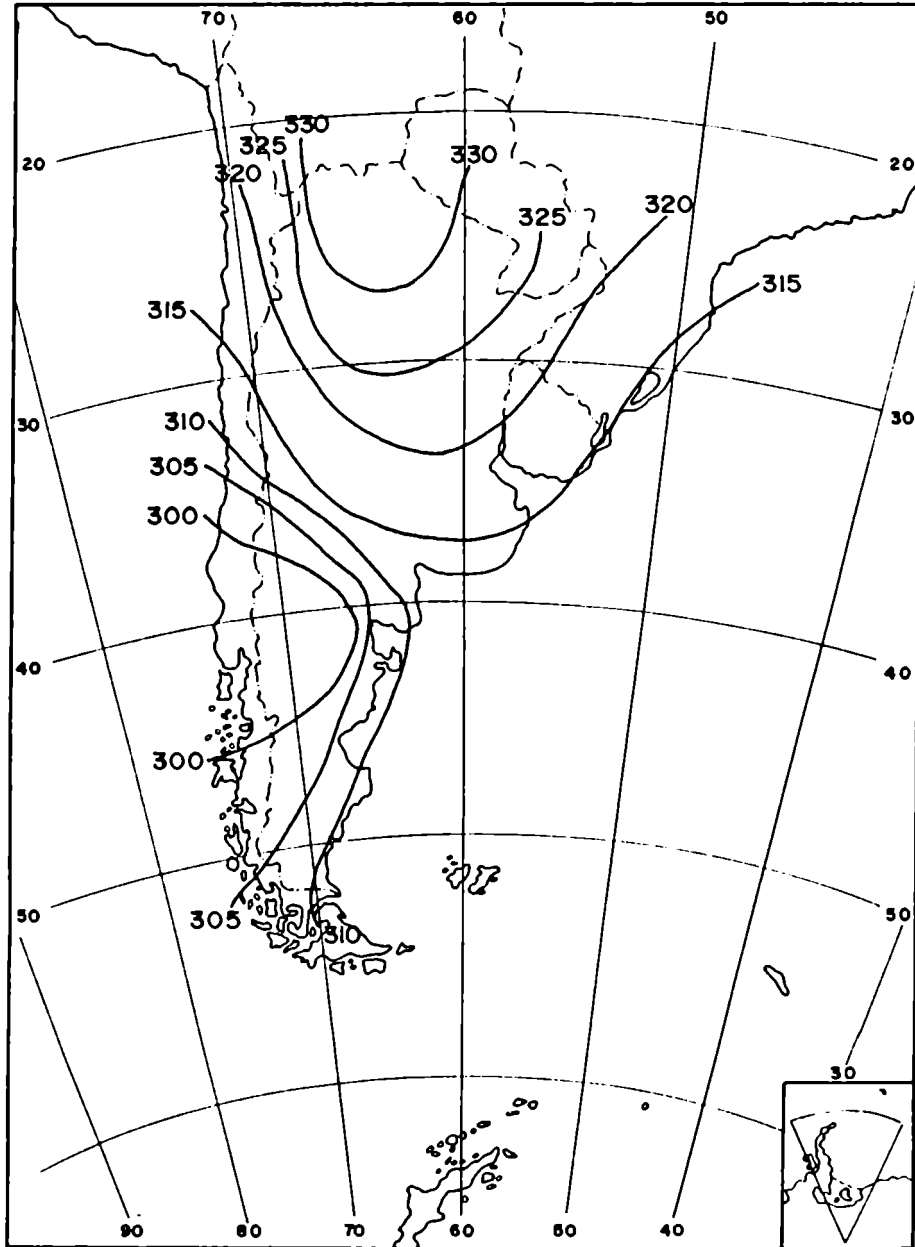


Fig. 3.26: Análisis de  $\theta_e$  en 500 hPa del 24/8/83 a las 12 UTC.

—— isothermas (oK).

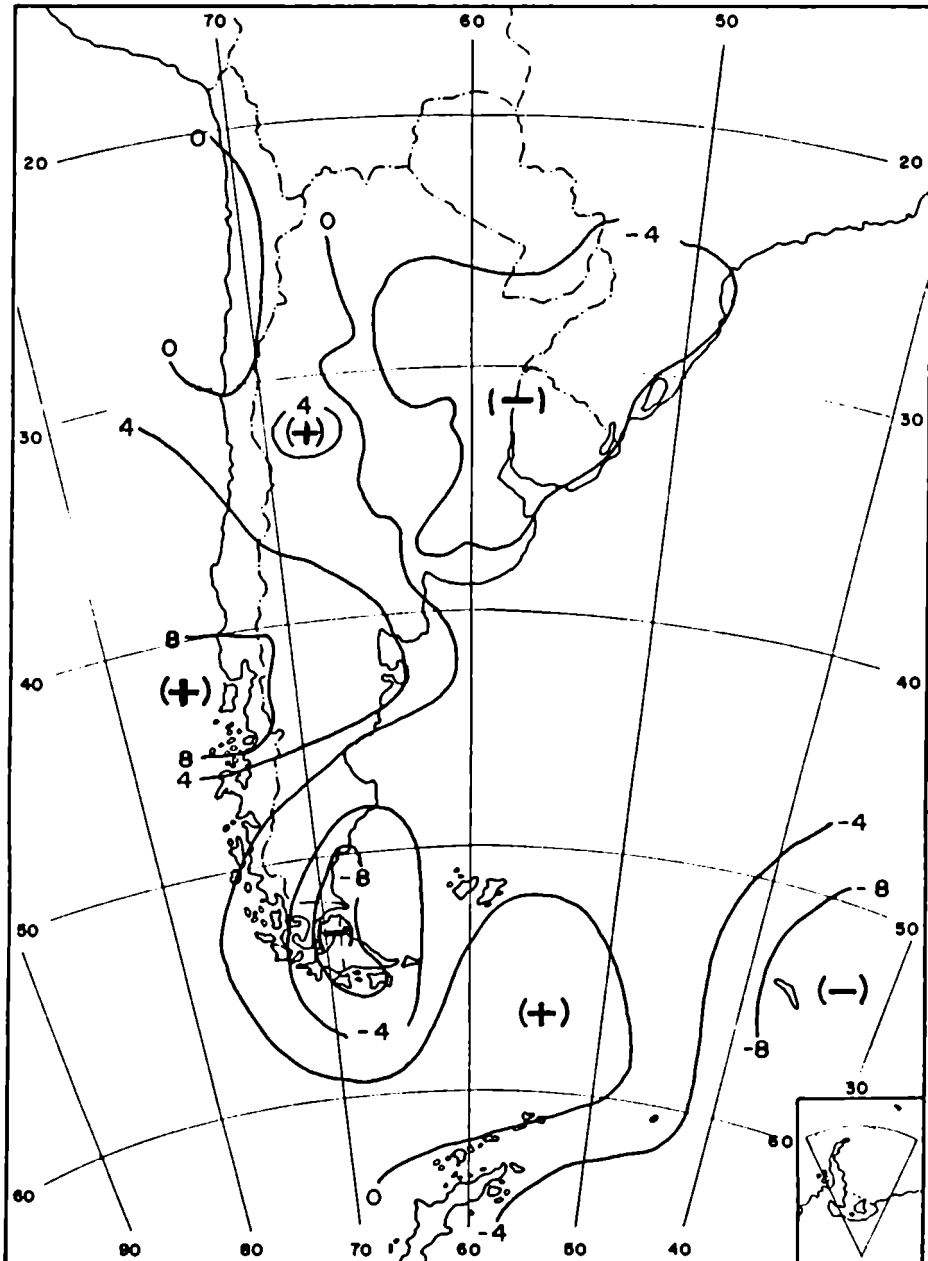


Fig. 3.27: Carta islobárica de 24 horas del día 24 de agosto de 1983 a las 12 UTC.

- En cambio, la capa de aire húmedo entre 600 y 300 hPa responde a la parte delantera de vaguada mencionada en 3.1 y lleva a la presencia de nubosidad media y alta.

El día 23 (Fig. 3.29) el aire casi saturado desde superficie hasta 630 hPa y bastante húmedo hasta 400 hPa, el enfriamiento respecto al día anterior desde 850 hPa hacia arriba y la ausencia de la inversión de subsidencia, indican un predominio de los efectos de la vaguada frente a los que determinan la corriente de Humboldt y el anticiclón subtropical del Pacífico.

El día 24 la inestabilidad del aire, su enfriamiento y la casi saturación continúan en capas bajas, restituyéndose lentamente los efectos del anticiclón semipermanente desde 700 hPa hacia arriba (Fig. 3.30).

### 3.3.2 A sotavento de Los Andes

En el sondeo de El Plumerillo del día 22 a las 12 UTC (Fig. 3.31) se observa que:

Una capa de aire estable se extiende desde superficie hasta 700 hPa.

- En ese nivel la depresión de punto de rocío es máxima, y se encuentra la mayor diferencia térmica (+7 °C) respecto de Quintero.

El aire más caliente que a sotavento entre 910 hPa y 480 hPa y la depresión de punto de rocío indican la presencia de aire descendente (Viento Zonda de altura) causante de la inversión de subsidencia forzada en 800 hPa. La inversión próxima a superficie se debe a efectos radiativos.

Las condiciones de viento Zonda se manifiestan claramente por encima del nivel de 700 hPa donde el aire es menos estable.

El día 23 (Fig. 3.32) estas condiciones se intensifican y afectan a capas más bajas. Ahora la inversión de subsidencia forzada es más intensa determinando fuerte secamiento (siendo la depresión del punto de rocío igual a 23 °C en 900 hPa) y hay un aumento de la inestabilidad general en la tropósfera baja como lo indican el calentamiento en la capa superficie/770 hPa y el enfriamiento en la capa 770/400 hPa, respecto del día anterior.

El humedecimiento progresivo en capas superiores con máximo en 500 hPa se debe a la nubosidad media en esos niveles.

Las condiciones bien diferentes existentes a ambos lados de la Cordillera representan un caso típico de Viento Zonda.

El aire húmedo del Océano Pacífico asciende forzosamente por un proceso adiabático saturado hasta los 400 hPa, pasando al lado argentino y descendiendo mediante un proceso que se hace cada vez más parecido al adiabático seco, como lo indica la capa 900/800 hPa.

La finalización del Viento Zonda tanto en altura como en el llano cuyano se evidencia el día 24 (Fig. 3.33) al desaparecer la inversión de subsidencia forzada, observándose en capas bajas aire más frío y más húmedo

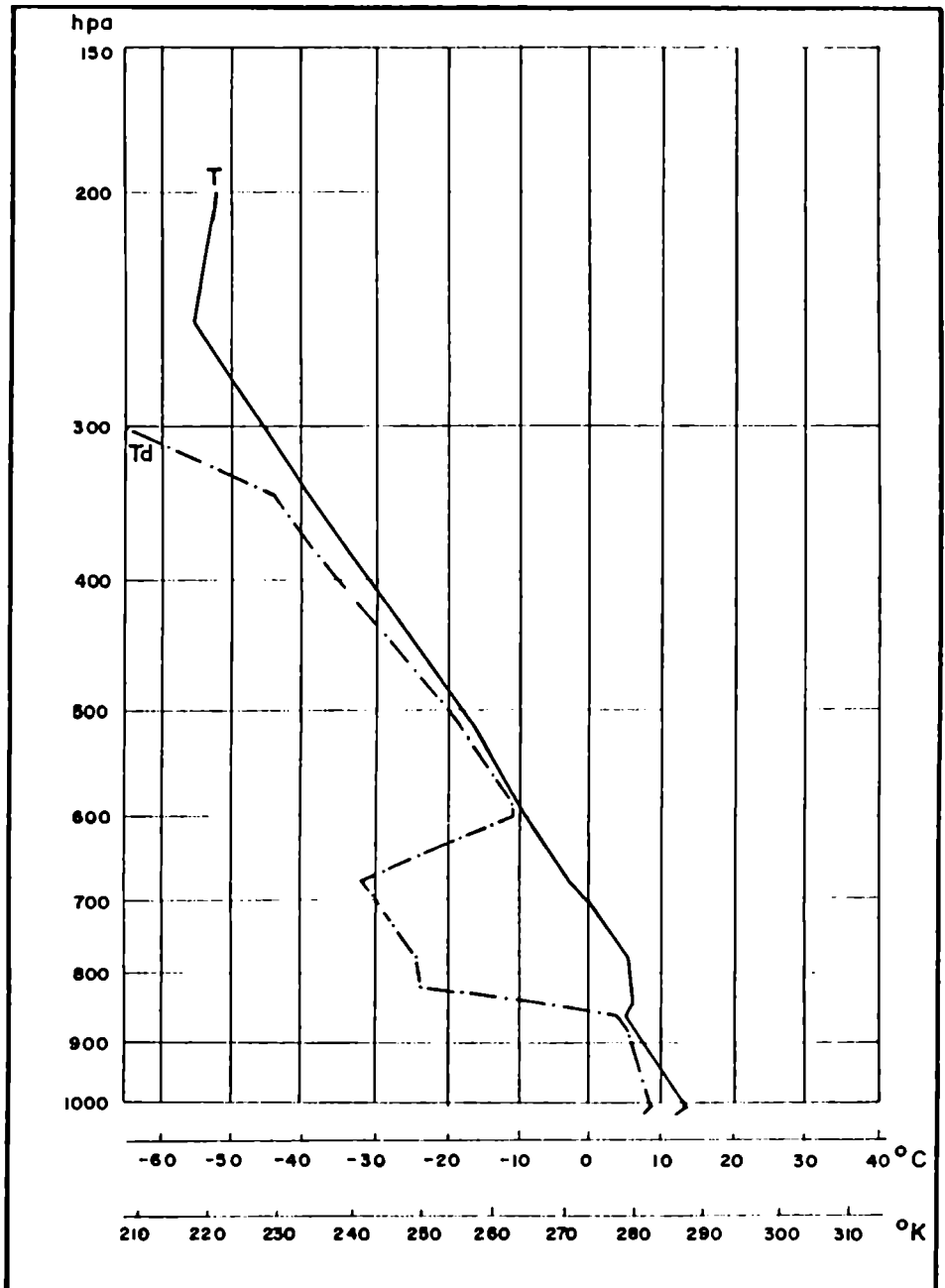


Fig. 3.28: Radiosondeo de Quintero dia 22 a las 12 UTC.

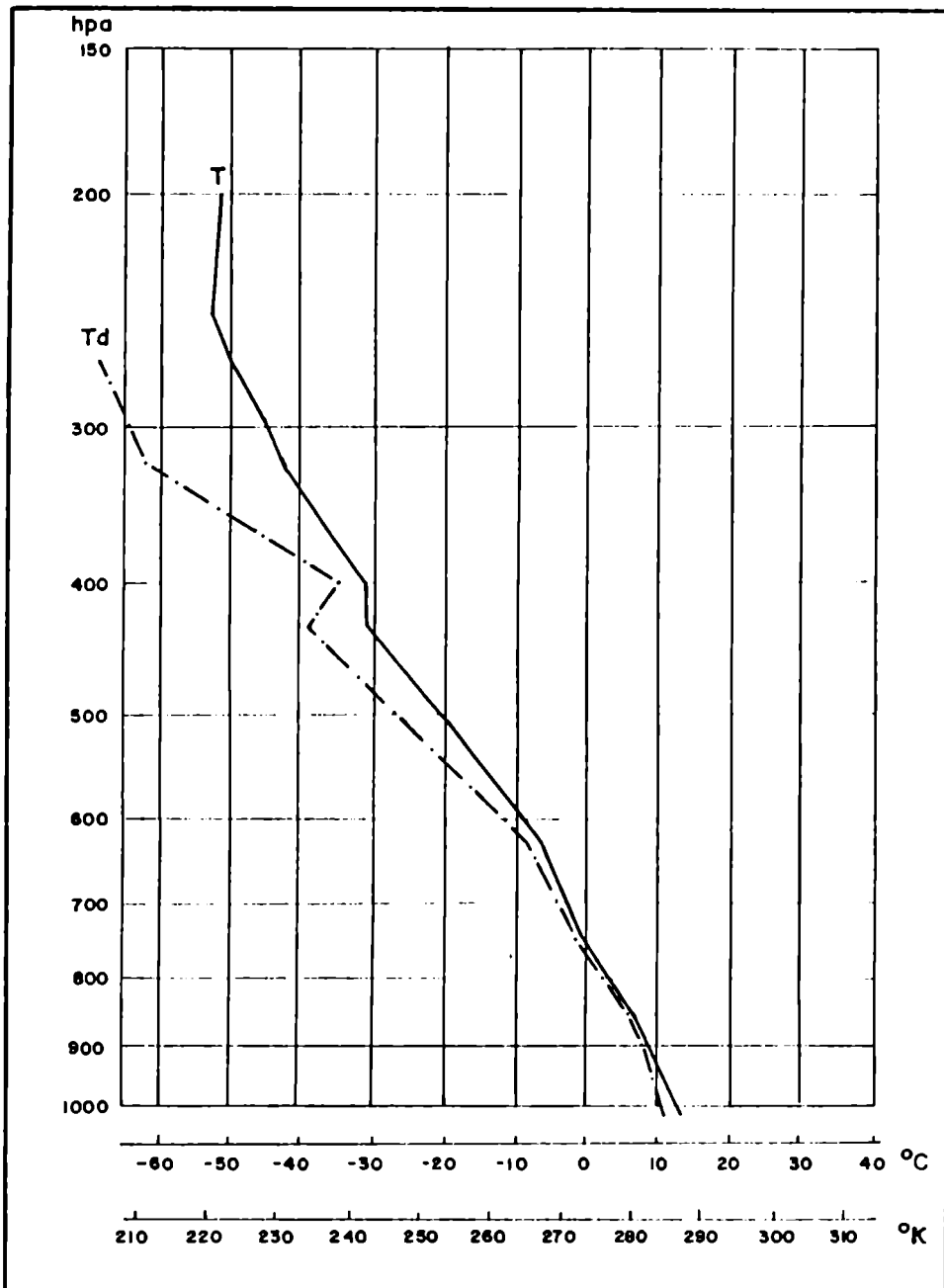


Fig. 3.29: Radiosondeo de Quintero día 23 a las 12 UTC.

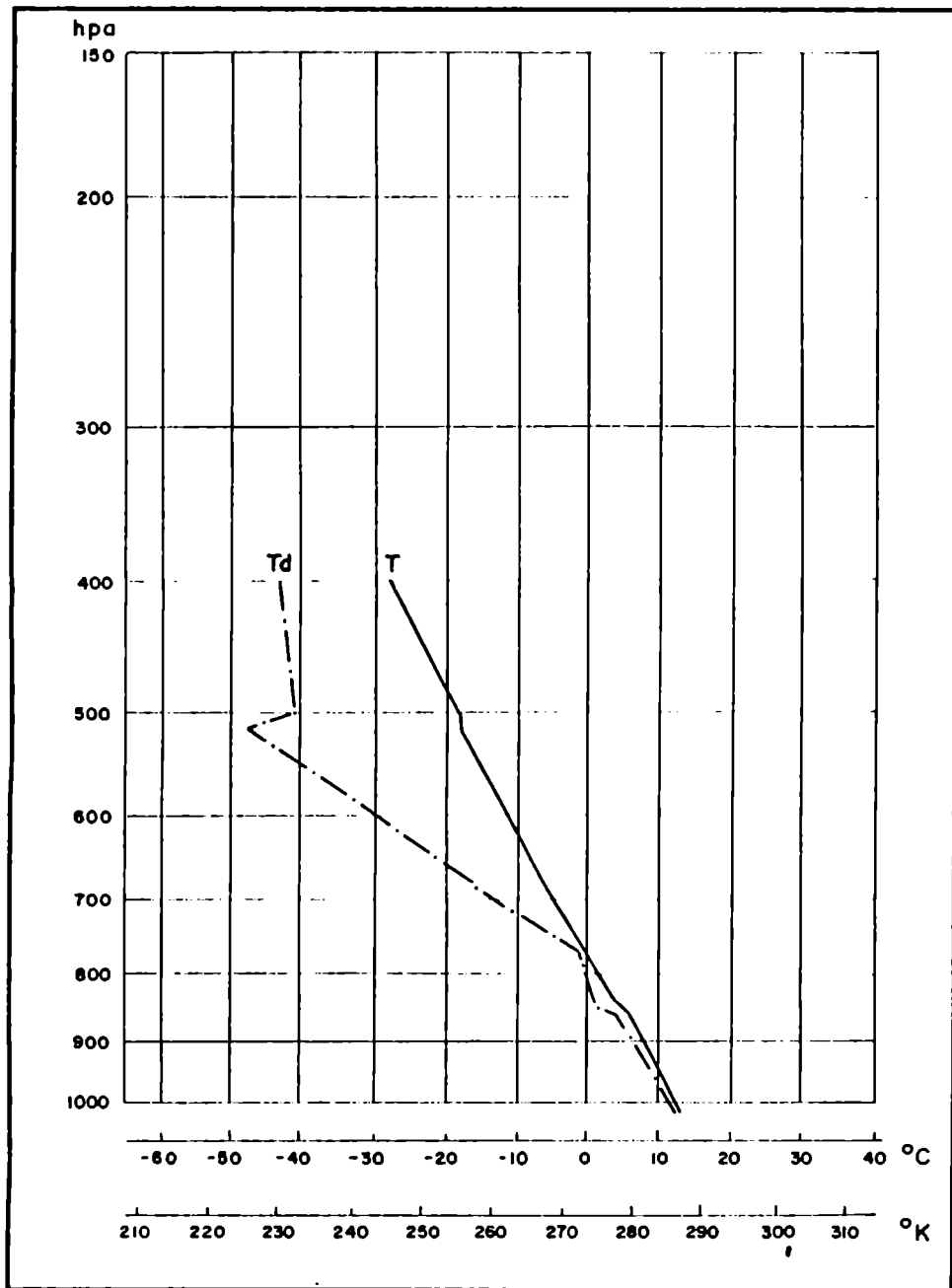


Fig. 3.30: Radiosondeo de Quintero dia 24 a las 12 UTC.

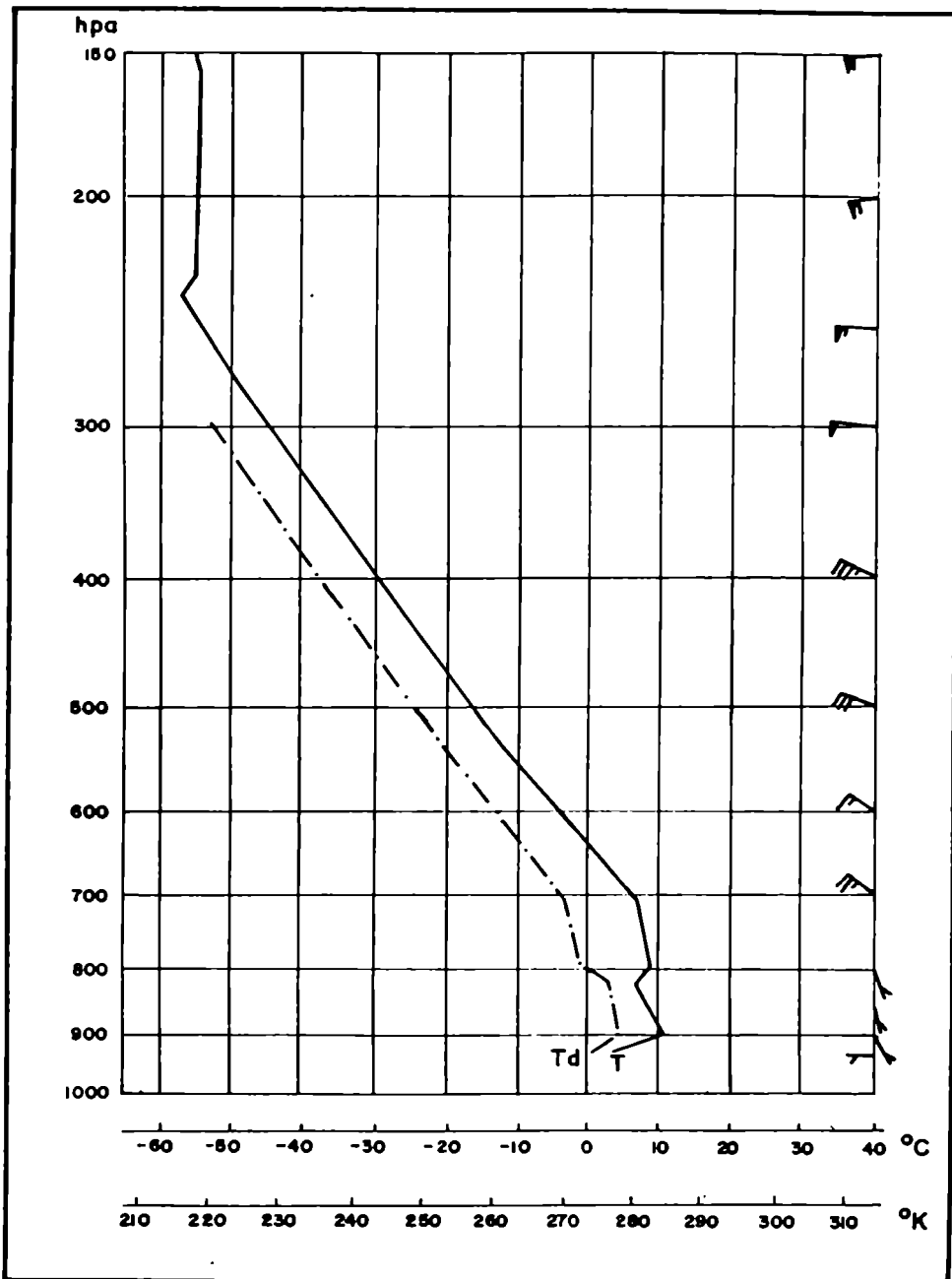


Fig. 3.31: Radiosondeo de El Plumerillo día 22 a las 12 UTC.



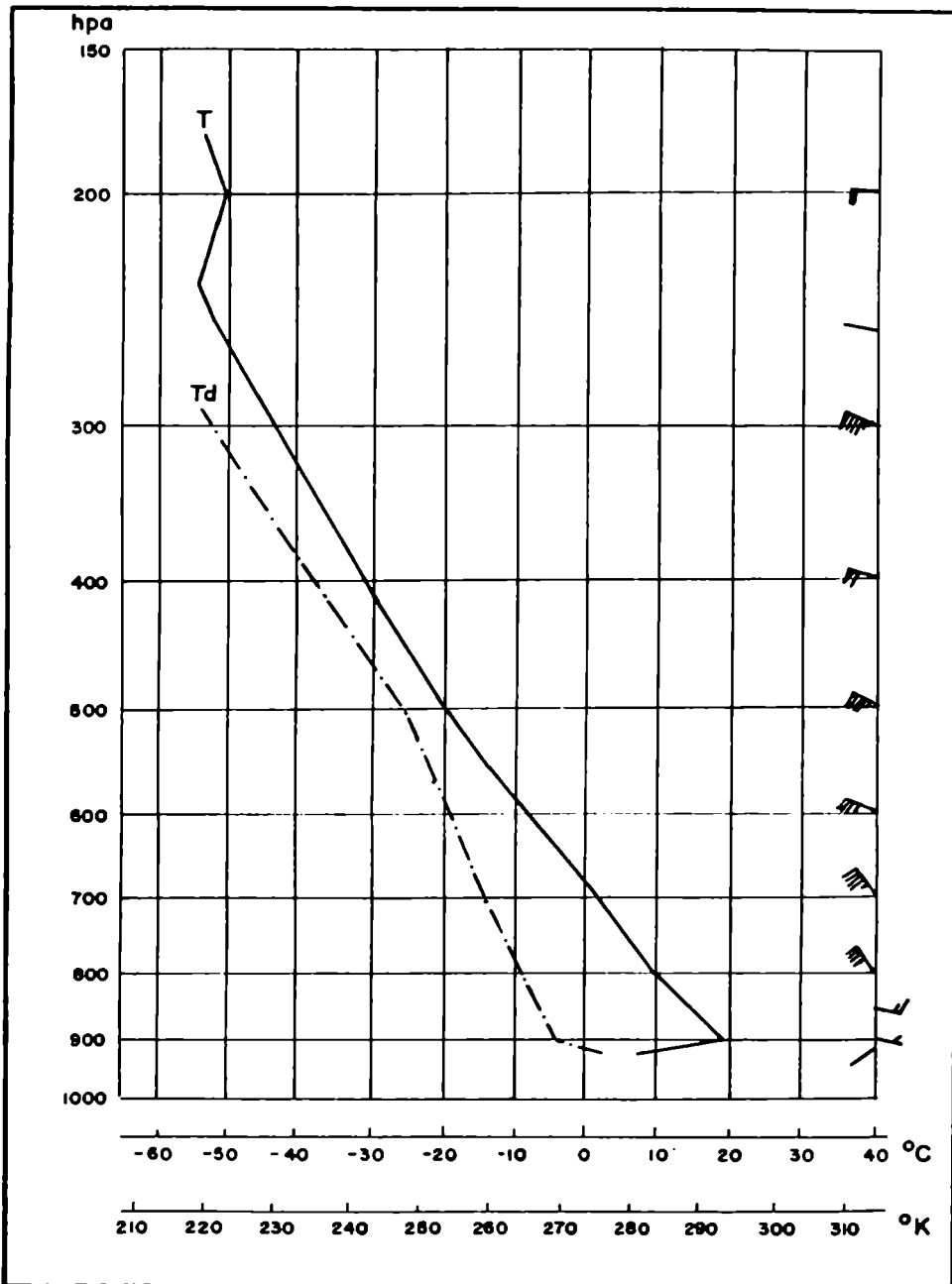


Fig. 3.32: Radiosondeo de El Plumerillo dia 23 a las 12 UTC.

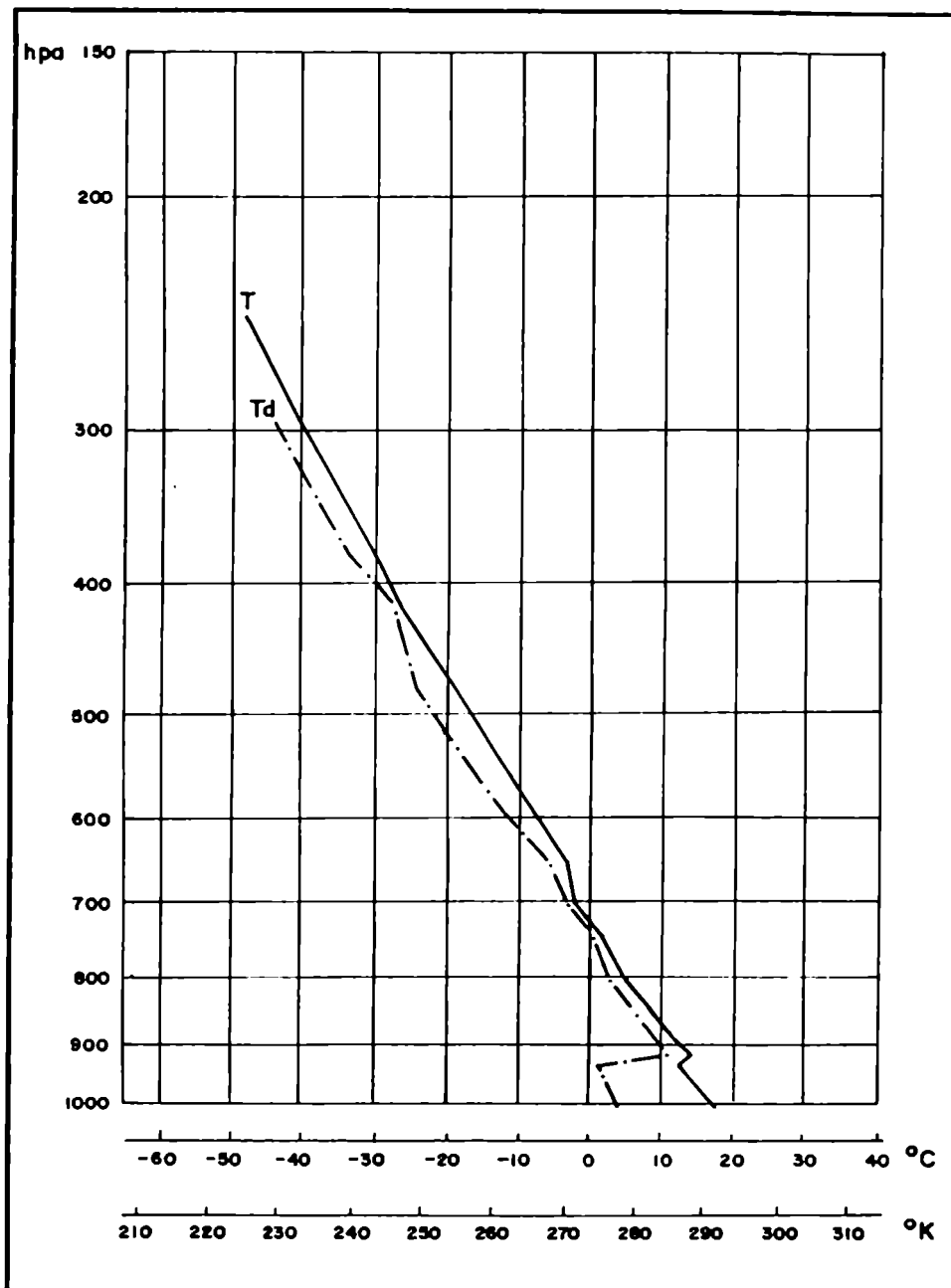


Fig. 3.33: Radiosondeo de El Plumerillo día 24 a las 12 UTC.

que el día anterior, por efectos del pasaje frontal.

### 3.4 DISTRIBUCION VERTICAL DEL VIENTO

Durante los días 22, 23 y 24 de Agosto, el viento indicó una marcada componente transversal a la cordillera tanto en 700 como en 500 y 300 hPa.

A la altura de la cresta de la cordillera (5500 m.s.n.m.) el viento fue del Oeste con velocidad de 25.4 m/s el día 23 a las 9 HOA.

Con los datos de viento suministrados por los radiosondeos de Quintero y El Plumerillo se obtuvieron las hodógrafas, los perfiles de la componente zonal del viento ( $u$ ), de la componente meridional ( $v$ ) y los de la velocidad total ( $V$ ) del día 23 a las 12 UTC.

El análisis de la evolución de estos parámetros se realiza comparándolos con los obtenidos al promediar los valores medios de todos los meses de Agosto del periodo 1974/83.

#### 3.4.1 A barlovento de Los Andes

La hodógrafa del viento del día 23 a 12 UTC en Quintero (Fig. 3.34) difiere respecto de la forma de la hodógrafa media de los meses de Agosto de 1974/83.

La dirección predominante del cuadrante Noroeste en todos los niveles responde a la presencia a la perturbación mencionada en 3.2. Esto se nota también en la preponderancia de valores negativos de la componente meridional (Fig. 3.35) (con un máximo en 3500 m.s.n.m.) respecto de los valores medios (Fig. 3.36).

El marcado aumento en los valores de  $u$  y  $V$  en las capas superiores a los 4000 m.s.n.m. estaría asociado a la cercanía de la corriente en chorro mencionada en 3.2.

#### 3.4.2 A sotavento de Los Andes

También la hodógrafa de El Plumerillo a 12 UTC del día 23 (Fig. 3.37) difiere notablemente de la media de Agosto.

Fundamentalmente se destaca el efecto del Viento Rotor que se distingue en los niveles 1 y 2 (900 y 850 hPa) de la hodógrafa, y en los valores de  $u$  para esos niveles (Fig. 3.38).

Desde 850 hasta 800 hPa se observa una fuerte cortante del viento de  $3.6E-2$  del Noroeste.

La disponibilidad de datos hasta 250 hPa permite visualizar mejor que en Quintero la cercanía de la corriente en chorro y las diferencias respecto a los valores medios de  $u$ ,  $v$  y  $V$ .

Desde los 3000 metros el viento es semejante al observado en Quintero pero contrasta notablemente en niveles mas bajos.

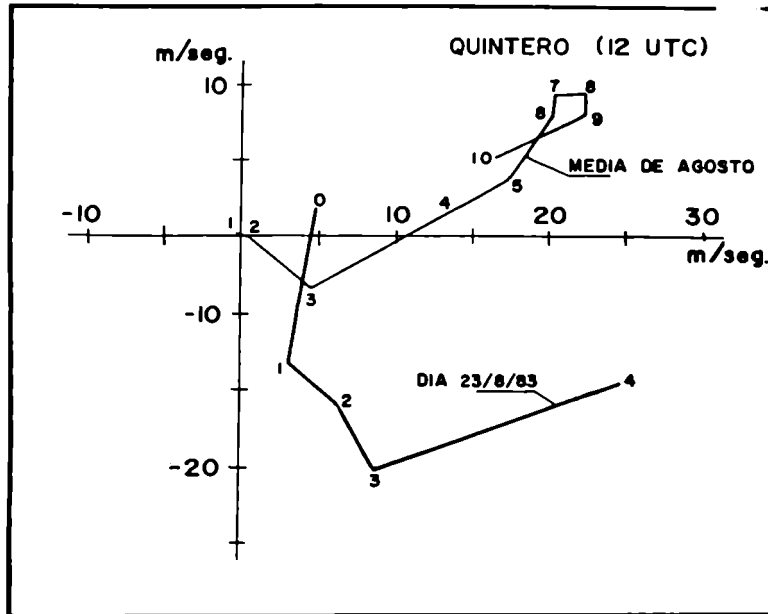


Fig. 3.34: Hodógrafa de Quintero del 23 de agosto de 1983 y hodógrafa media de agosto 1974/83 a las 12 UTC.

- 0 Superficie
- 1 1000 hPa
- 2 850 hPa
- 3 700 hPa
- 4 500 hPa
- 5 400 hPa
- 6 300 hPa
- 7 250 hPa
- 8 200 hPa
- 9 150 hPa
- 10 100 hPa

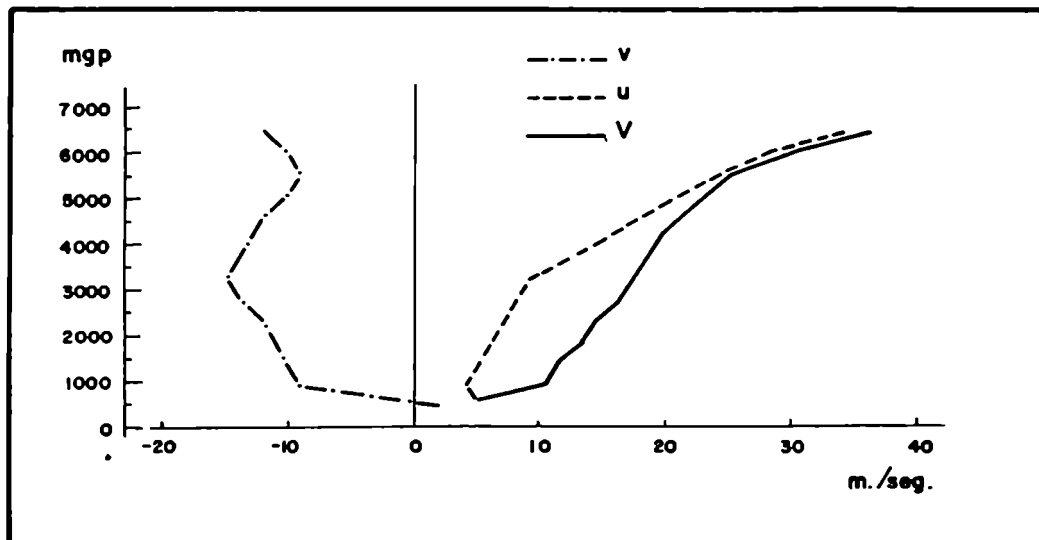


Fig. 3.35: Componente zonal  $u$ , meridional  $v$  y viento total  $V$  en Quintero del 23 de agosto a las 12 UTC.

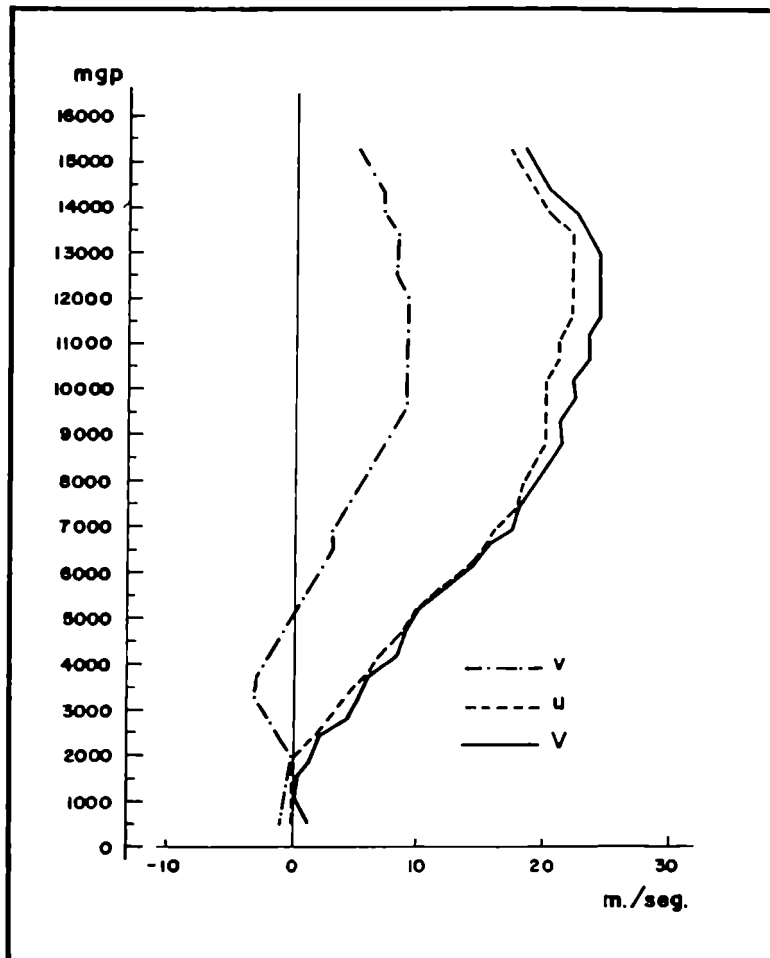


Fig. 3.36: Componente zonal  $u$ , meridional media  $v$  y viento total  $V$  de agosto 1974/83 a las 12 UTC.

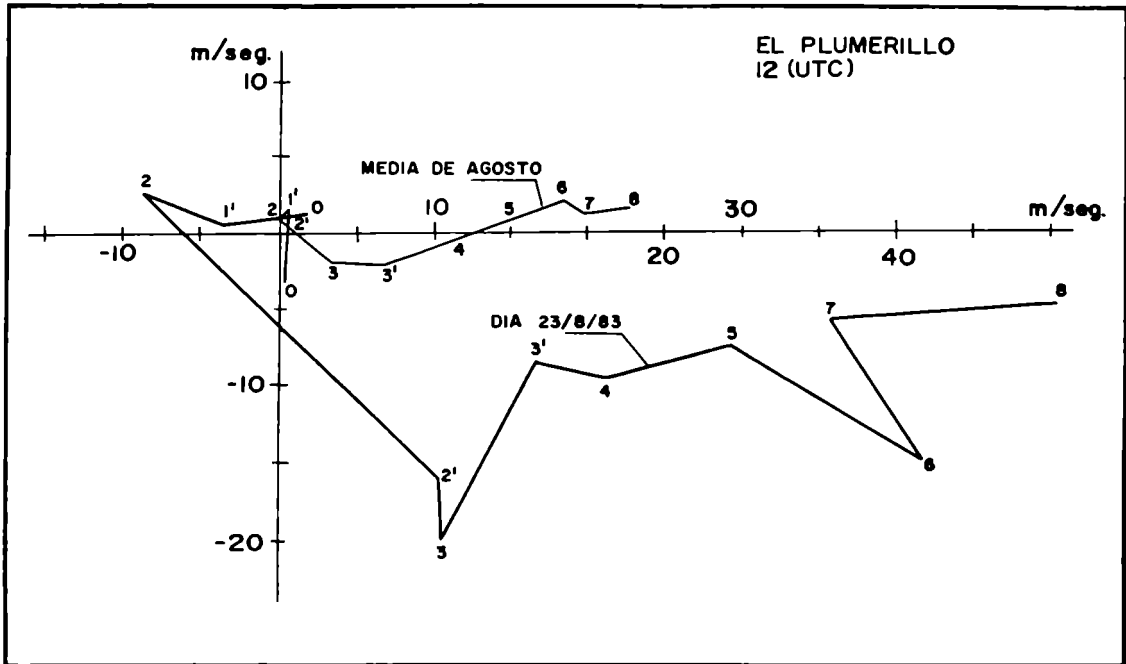


Fig. 3.37: Hodógrafa de El Plumerillo del 23 de agosto de 1983 y hodógrafa media de agosto 1974/83 a las 12 UTC.

- 0 Superficie
- 1' 900 hPa
- 2 850 hPa
- 2' 800 hPa
- 3 700 hPa
- 3' 600 hPa
- 4 500 hPa
- 5 400 hPa
- 6 300 hPa
- 7 250 hPa
- 8 200 hPa
- 9 150 hPa
- 10 100 hPa

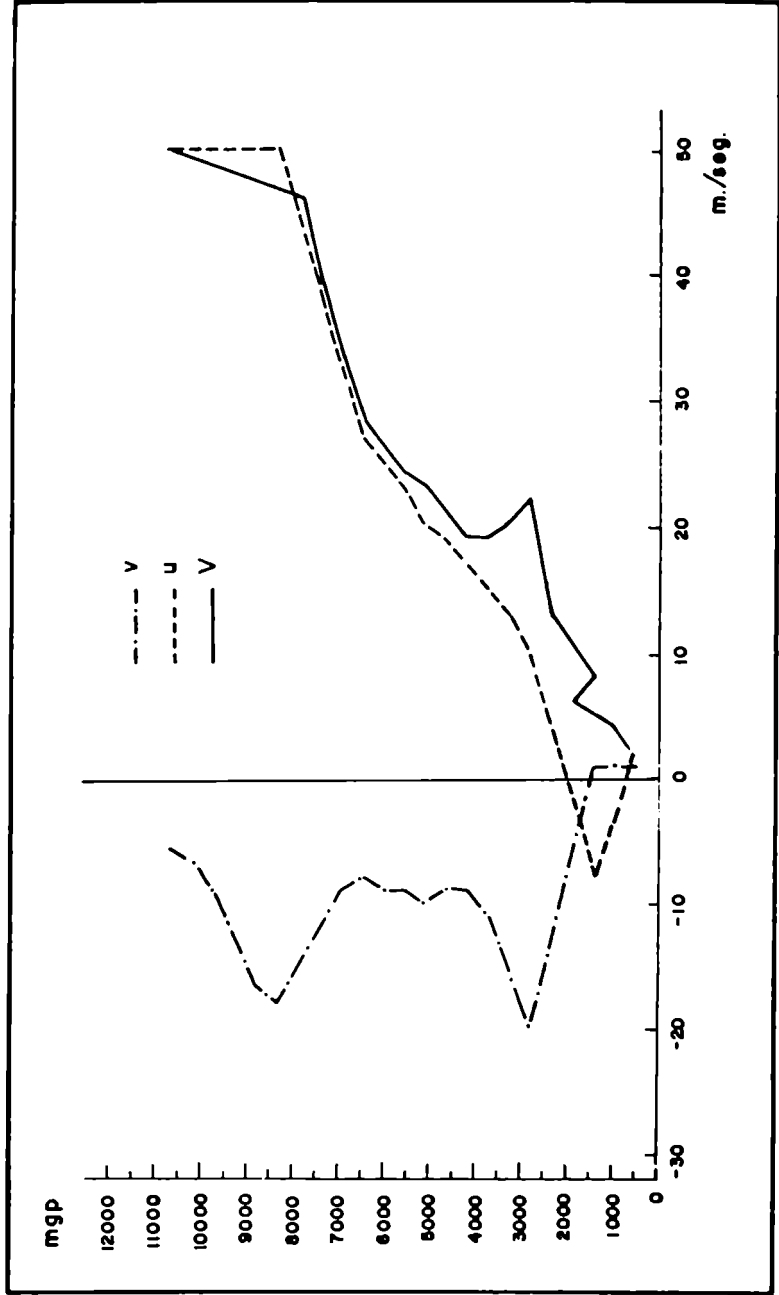


Fig. 3.36: Componente zonal u, meridional v y viento total V de El Plumerillo del 23/8/83 a las 12 UTC.



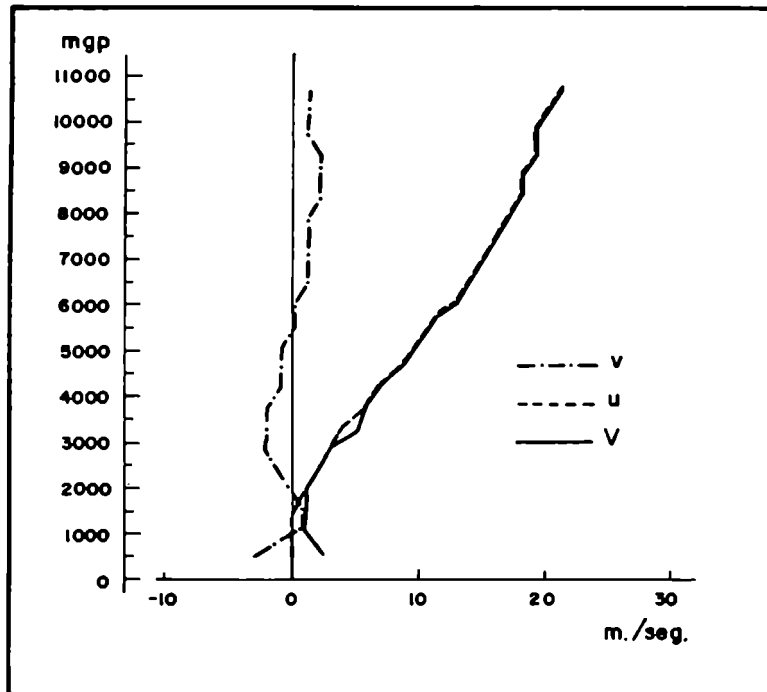


Fig. 3.39: Componente zonal media  $u$ , meridional media  $v$  y viento total medio  $V$  de El Plumerillo a las 12 UTC, agosto 1974/83.

A la altura de Cristo Redentor (3800 m.s.n.m.) el viento en la atmosfera libre (y su componente u) es de  $V=18,5$  m/s  $u=13$  m/s y  $v=-13$  m/s según los datos de Quintero.

En general estos valores son superiores a los valores medios de los meses de Agosto (Fig. 3.39).

### 3.5 ANALISIS DE CORTES VERTICALES

Se construyeron con los radiosondeos de Quinteros, El Plumerillo, Córdoba y Ezeiza de los días 22, 23 y 24 de agosto de 1983 a 12 UTC. Se analizó la humedad específica  $q$ , la temperatura potencial  $\theta$  y la temperatura potencial equivalente  $\theta_e$ .

Se tuvo en cuenta la información obtenida de las estaciones de montaña: Cristo Redentor (3880 m.s.n.m.), Uspallata (1900 m.s.n.m.), Vallecitos (2225 m.s.n.m.), Puesto Reynoso (1700 m.s.n.m.) y San José de Tupungato (1220 m.s.n.m.).

#### 3.5.1 Condiciones previas (día 22)

Segun el análisis de la humedad específica  $q$  (Fig. 3.40), a barlovento de la Cordillera se observa la distribución de humedad ya mencionada en 3.2.1. A sotavento, las lasunas de aire más humedo en todas las laderas orientales de las cadenas montañosas (Cordillera Central - Valle de Uspallata; Precordillera - piedemonte mendocino; Sierras de San Luis y de Córdoba) se deben a la advección del noreste observada en cartas sinópticas.

En ellas no se observa precipitación ni en la costa chilena ni en Cristo Redentor, donde sólo ha cesado de nevar una hora antes.

El analisis isoentrópico permite inferir que el aire a 4500 m.s.n.m. sobre Quintero puede ser el mismo que está a 3000 m.s.n.m. sobre El Plumerillo (Fig. 3.41).

El análisis de  $\theta_e$  (Fig. 3.42) es más significativo respecto de esa caída de aire desde barlovento. Aquí el aire a 4500 m.s.n.m. sobre Quintero puede ser el mismo que alcanza a Vallecitos (2200 m.s.n.m.) y Puesto Reynoso (1700 m.s.n.m.) durante las horas de Zonda en esas estaciones.

#### 3.5.2 Condiciones predominantes el día 23

El corte de  $q$  indica que el aire de origen trasandino desciende en forma de chorro, desalojando al aire húmedo y frío de capas bajas que reaccumula sobre las laderas orientales cordilleranas en zonas protegidas del Zonda (Fig. 3.43).

El analisis de  $\theta$  de este día no es muy diferente al del día anterior (Fig. 3.44). Sin embargo, ahora se registra precipitación tanto en Chile como en Cristo Redentor y el analisis de  $\theta_e$  es más significativo para identificar la trayectoria de las masas de aire.

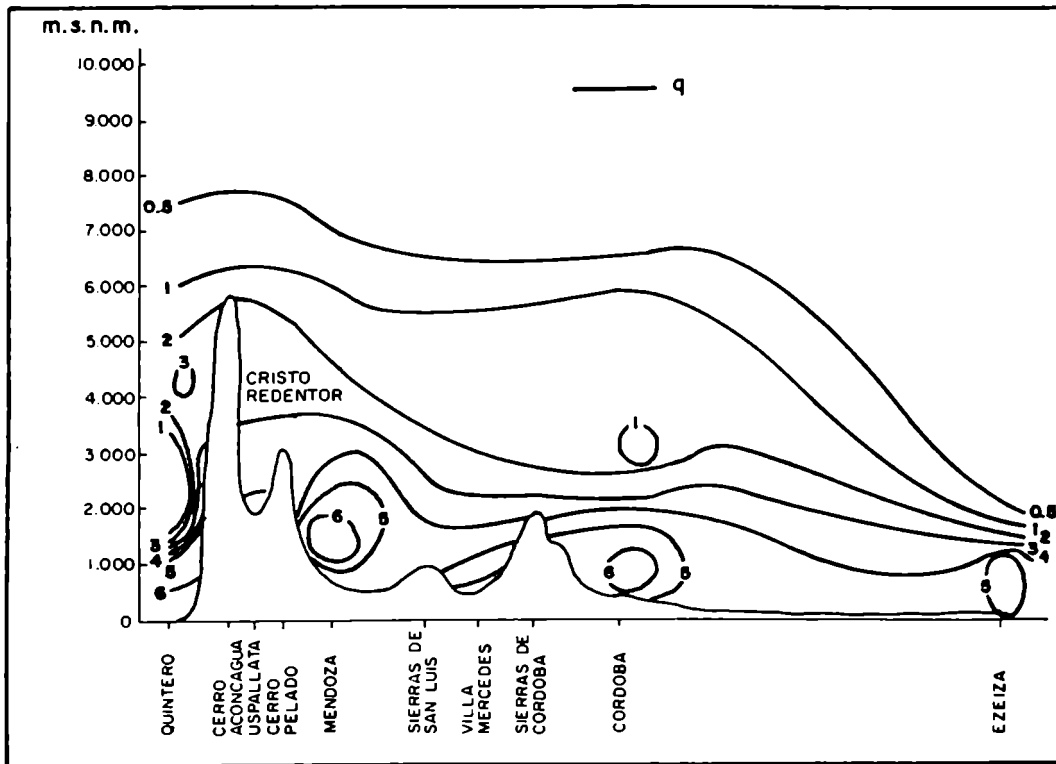


Fig. 3.40: Corte vertical de la humedad específica  $q$  el día 22 a las 12 UTC.

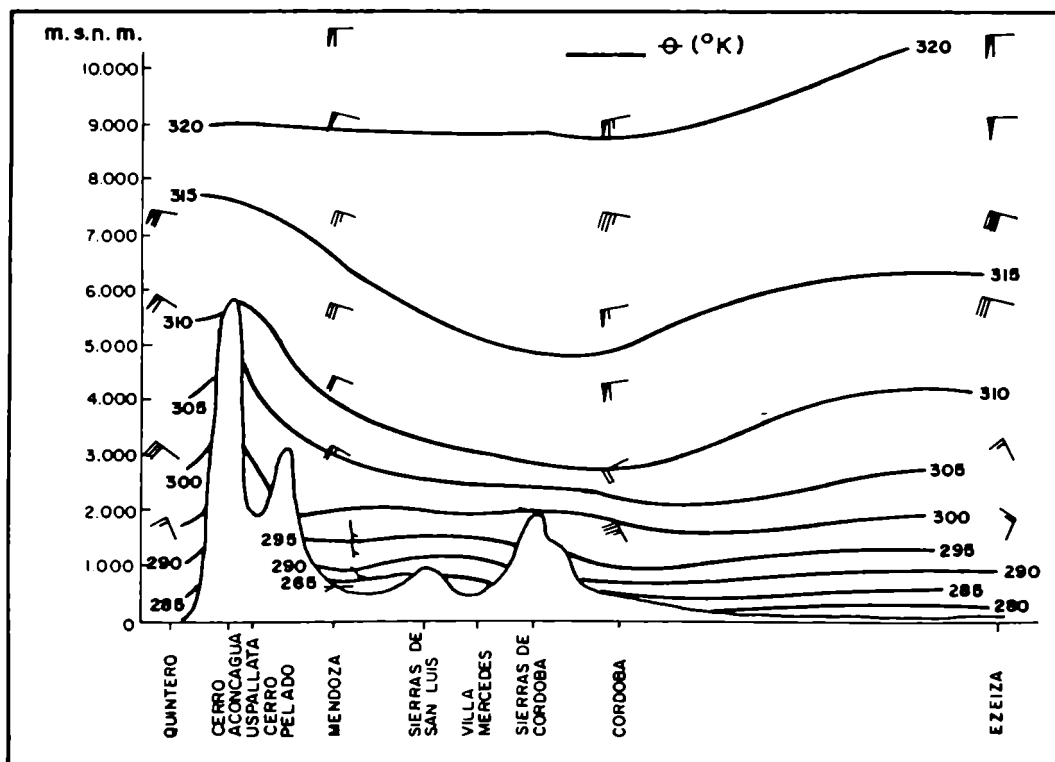


Fig. 3.41: Corte de temperatura potencial  $\theta$  el día 22 a las 12 UTC.

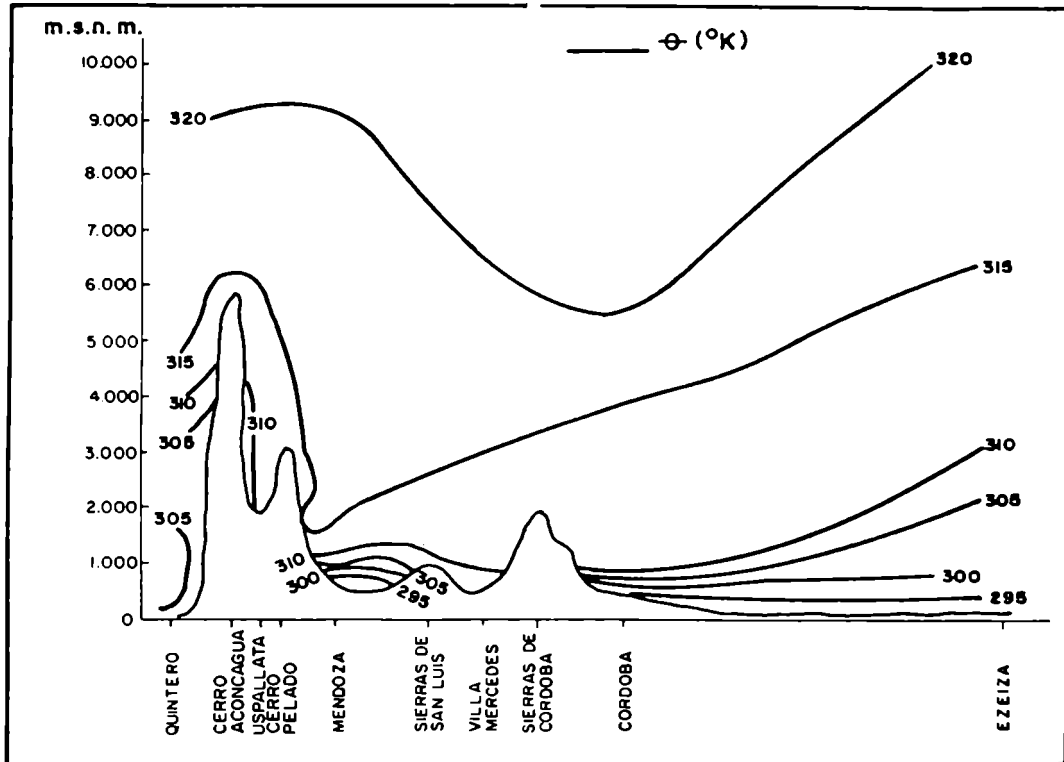


Fig. 3.42: Corte de temperatura potencial equivalente  $\theta_e$  el día 22 a las 12 UTC.

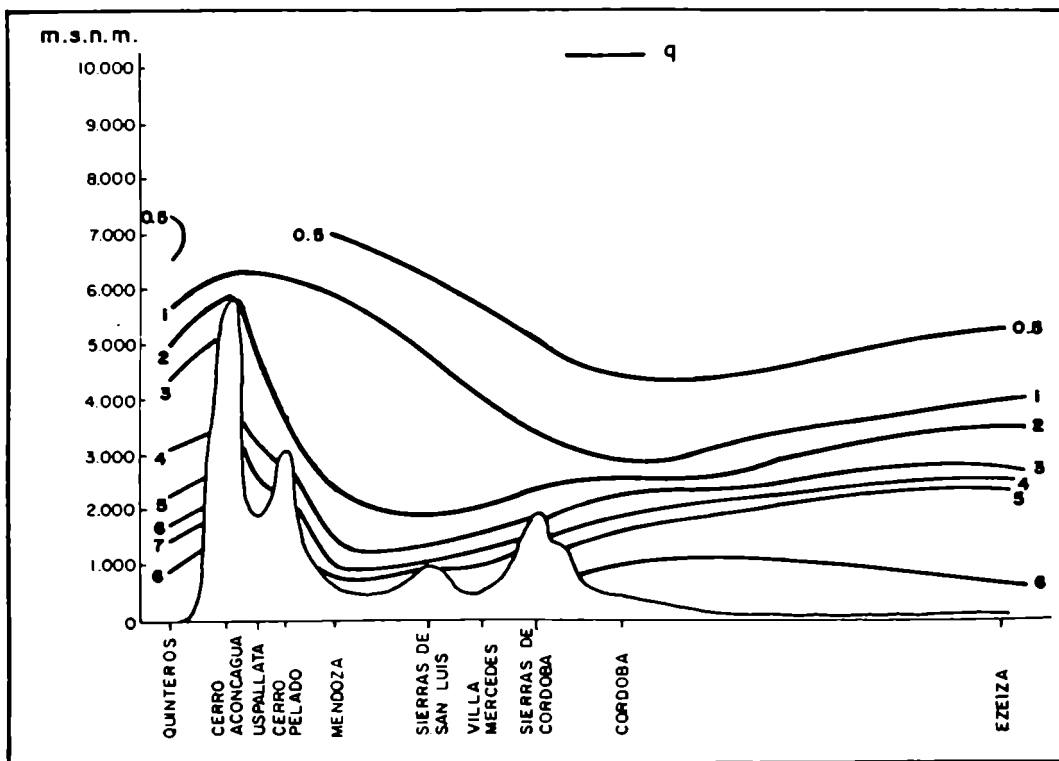


Fig. 3.43: Corte de  $q$  el día 23 a las 12 UTC.

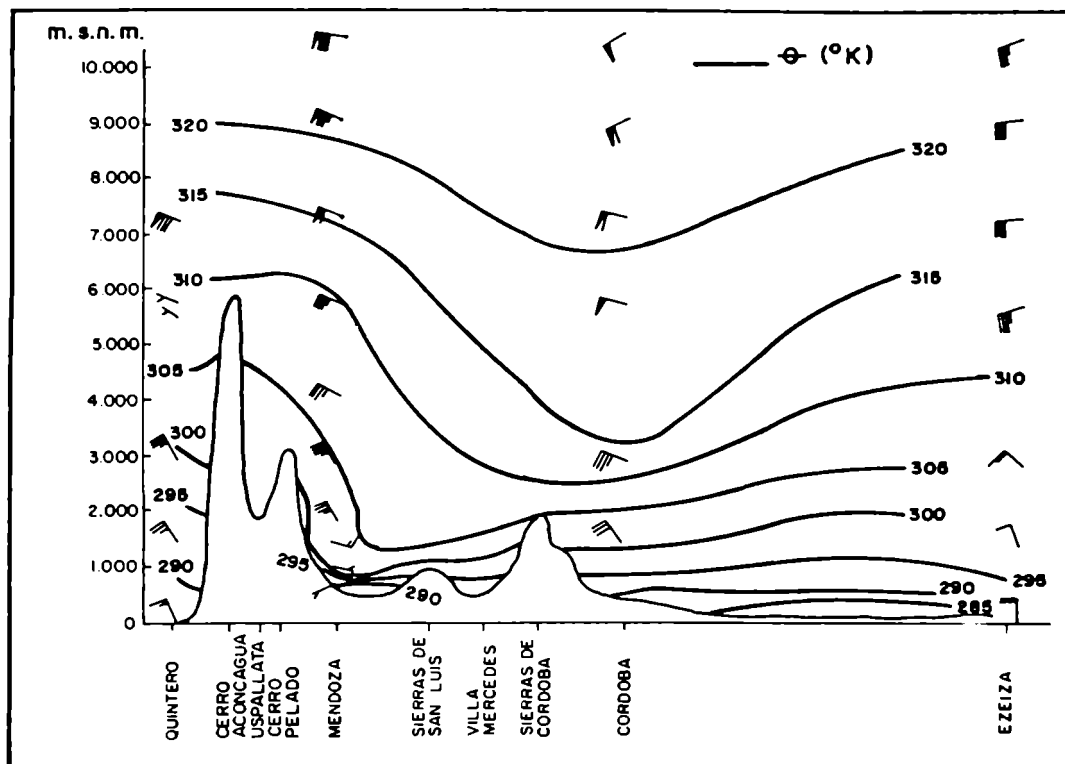


Fig. 3.44: Corte de  $\theta$  el día 23 a las 12 UTC.

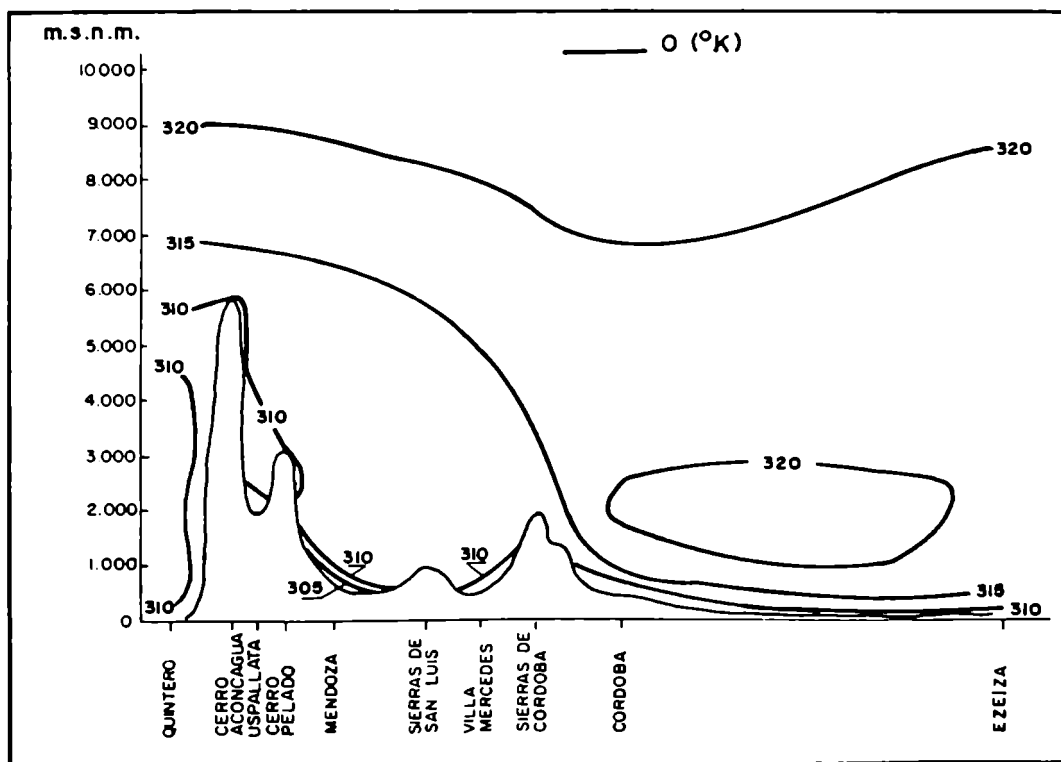


Fig. 3.45: Corte de  $\theta$  el día 23 a las 12 UTC.

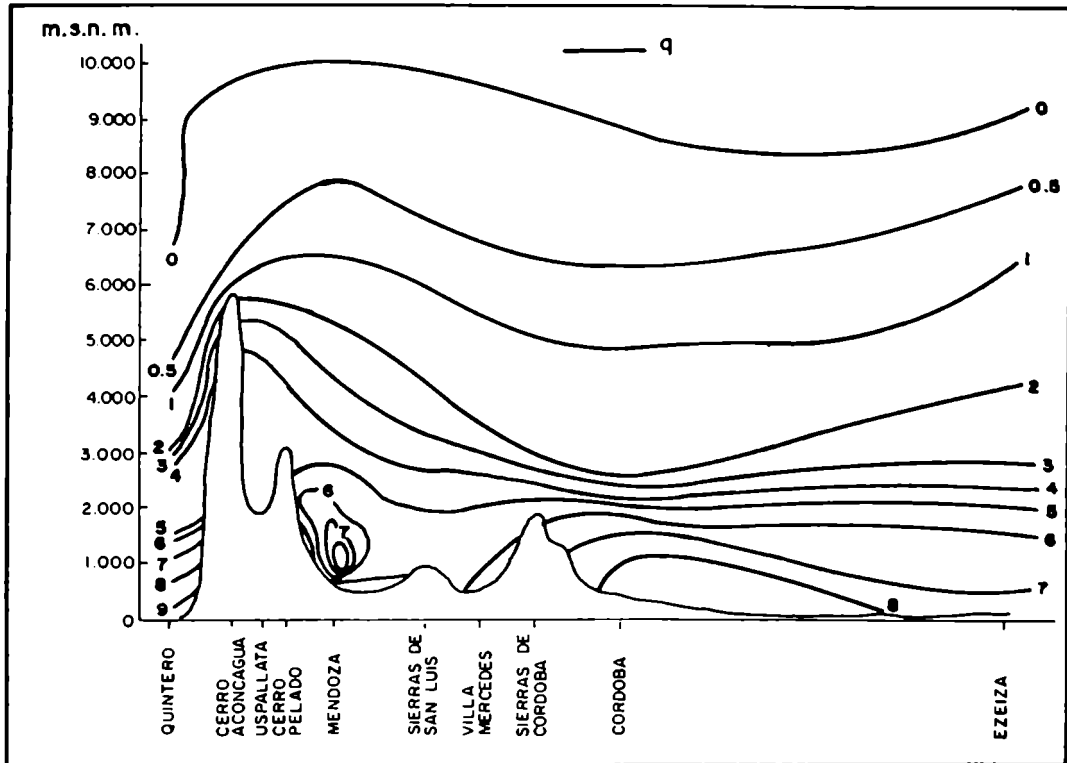


Fig. 3.46: Corte de  $q$  el día 24 a las 12 UTC.

El aire a 6500 m.s.n.m. a barlovento podría ser el mismo que el que está a 900 m.s.n.m. sobre El Plumerillo (Fig. 3.45). El viento del Este-Sudeste en 850 hPa representa al efecto rotor (4) (Nicholls, J.M. 1973) no siempre visible en todos los casos de Zonda. En esta oportunidad se observa claramente entre 850 y 800 hPa. Podría ser este un factor que favorece la acumulación de humedad residual en las laderas orientales precordilleranas.

### 3.5.3 Condiciones posteriores (día 24)

La ausencia de la inversión de subsidencia semipermanente y del secamiento que provoca en la costa chilena, indican la continuidad del efecto de onda larga ya mencionado en 3.1 y 3.2, con la aproximación de una nueva depresión mencionada en 3.2.3 .

La nubosidad estratiforme post-frontal sobre El Plumerillo está asociada a la nueva concentración de humedad registrada (Fig 3.46), debida quizás a cierto ascenso orográfico.

En cambio, en el centro y Este argentino, el aumento de humedad observado en casi toda la columna de aire respecto del día anterior, corresponde a la advección cálida y húmeda del noreste y a la proximidad del frente caliente.

## 3.6 DIAGNOSTICO ESPACIO-TEMPORAL DE MESOESCALA

### 3.6.1 La disminución de presión

En el gráfico de desviación de la presión respecto de la media mensual y de variación térmica (Fig. 3.47) se muestran algunos fenómenos significativos considerados indicativos de la cercanía o presencia de Zonda (nubosidad, tiempo presente, temperatura, punto de rocío y viento) para ciertas estaciones del área.

Se observa que el descenso continuo de presión atmosférica se inicia el día 19 en la tarde, al comenzar a actuar la vaguada de onda larga (ver 2.2). Pero los primeros indicios de viento Zonda en altura, ocurren cuando en Cristo Redentor y El Plumerillo la presión alcanza valores inferiores al promedio (día 21).

El descenso más pronunciado desde la tarde del día 22 a la del día 23 estaría asociado a la ocurrencia del viento en el llano que aparece cuando se registra el mínimo en El Plumerillo.

En cambio en Cristo Redentor el mínimo ocurre cuando se inicia el Viento Rotor en El Plumerillo.

La figura 3.47 permite comprobar que el aire que llega a El Plumerillo durante el Viento Zonda es el mismo que pasó por Cristo Redentor, existiendo entre ambas estaciones una diferencia de temperatura de casi 34 oC, que corresponde a un gradiente adiabático seco o ligeramente superadiabático. En ambas localidades, la humedad específica conserva su valor de 3,8 g/kg.

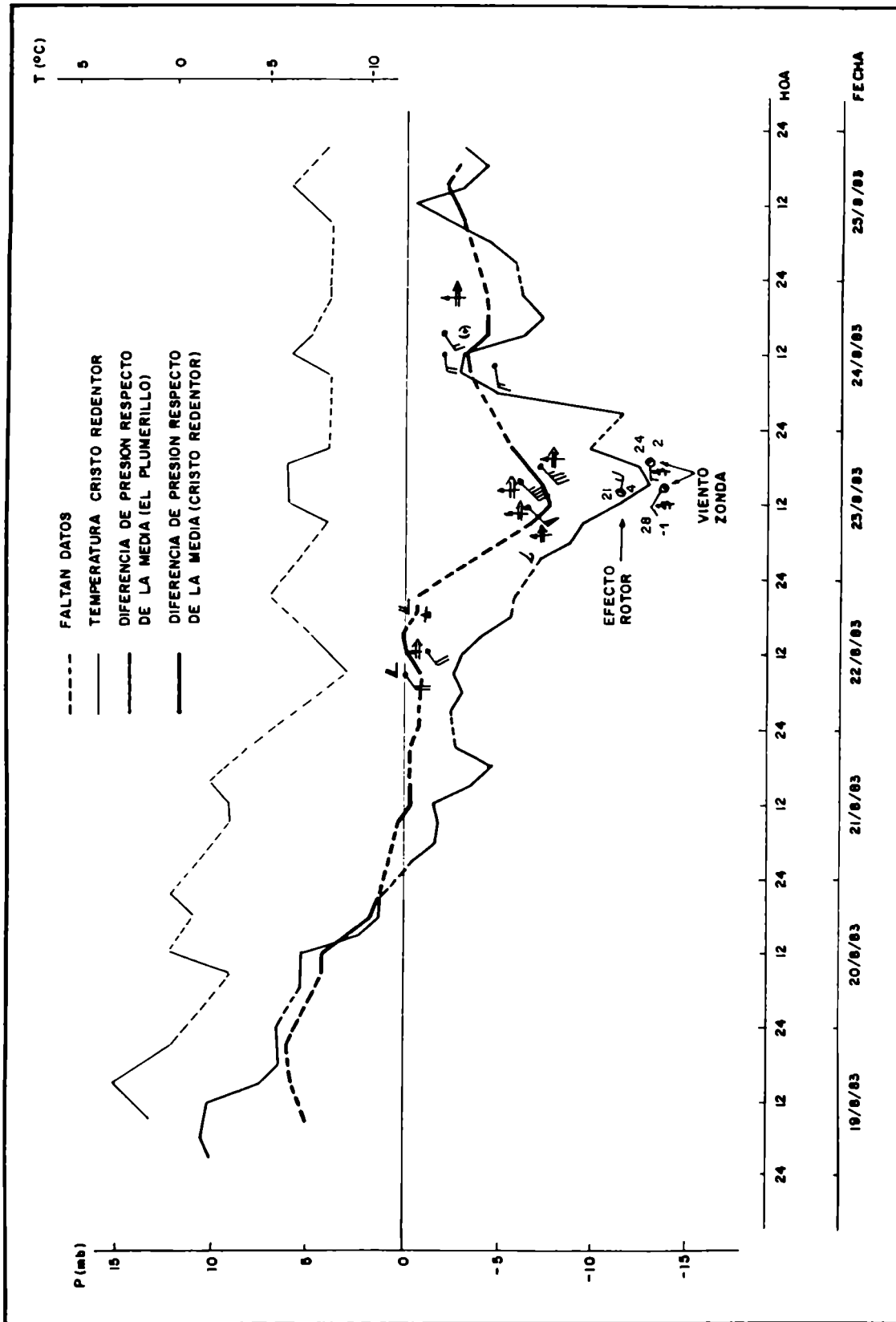


Fig. 3.47: Desviación de la presión respecto de la media de Agosto en Cristo Redentor y El Plumerillo, variación térmica de Cristo Redentor.



### 3.6.2 Diagnóstico espacio-temporal en una transecta latitudinal

Para las estaciones carentes de anemógrafos se implemento el método indirecto de detección del Viento Zonda, denominado 'Zonda histórico' que considera solamente a las variaciones de humedad relativa como indicadores del fenómeno (Norte, F.A., 1986a) (ver también 2.3.2).

De acuerdo con esta definición se construyó una transecta latitudinal con los hidrogramas de Vallecitos, Puesto Reynoso, San José, CRICYT, San Juan, San Martín y La Paz (de oeste a este) (Fig 3.48 y 3.49) observándose que:

1. El Zonda está presente por encima de los 2000 m.s.n.m. (Vallecitos) el día 21 y la madrugada del día 22. En cambio, mas abajo, en Puesto Reynoso (1700 m.s.n.m.) solamente sopla el día 21 por pocas horas. Esta es la situación típica definida como 'Zonda en altura', cuando el efecto de secamiento y eventual calentamiento provocado por el fenómeno está ausente en las estaciones del llano pero es evidente en las de montaña.

El incremento de humedad relativa que se produce desde las 14 HOA del día 23 en Vallecitos y Puesto Reynoso es debido al viento rotor observado en 850 hPa.

3. En San José el Viento Zonda aparece un poco antes que en San Juan (al norte de la transecta latitudinal) y que en CRICYT-Mendoza.
4. Hay 'efecto Zonda' cuando el calentamiento y secamiento provocados por el fenómeno afectan un lugar donde el viento esta ausente, hecho que en este caso ocurre en San Martín y La Paz. Por ejemplo, en esta última estación tan sólo se detecta un calentamiento en la noche del 23 al 24 de agosto y una significativa variación en los valores de temperatura mínima de los días 23, 24 y 25 que son de 2,5 °C; 10,0 °C y 7 °C respectivamente (Fig. 3.49).

Se denomina 'anillo de Zonda' (Brinkmann, W.R., 1973) al area dominada por viento o por 'efecto Zonda' (ver Apéndice D). El día 23 el límite oriental del anillo se ubica cerca de La Paz.

Se reconstruye la distribución vertical de temperatura y punto de rocío a las 15 HOA (Fig. 3.50) cuando el Zonda está en su apogeo en la ciudad de Mendoza. Se observa que el aire que está presente en Mendoza no procede ni de Vallecitos ni de Puesto Reynoso, localidades donde el humedecimiento significativo respecto del sondeo de las 12 UTC corresponde a la acumulación de aire humedo y frío que fue desalojado por el Zonda en las capas mas bajas.

En particular las condiciones en el valle de Uspallata son diferentes, no estando esa zona afectada ni por el Viento Zonda ni por la acumulación del aire humedo y frío proveniente del llano. Las causas de estas singularidades son atribuibles fundamentalmente a la orografía (ver Capítulo 1).

En niveles más altos el enfriamiento respecto de la hora 12 UTC responde a la intensificación de los efectos de la parte delantera de vauada.

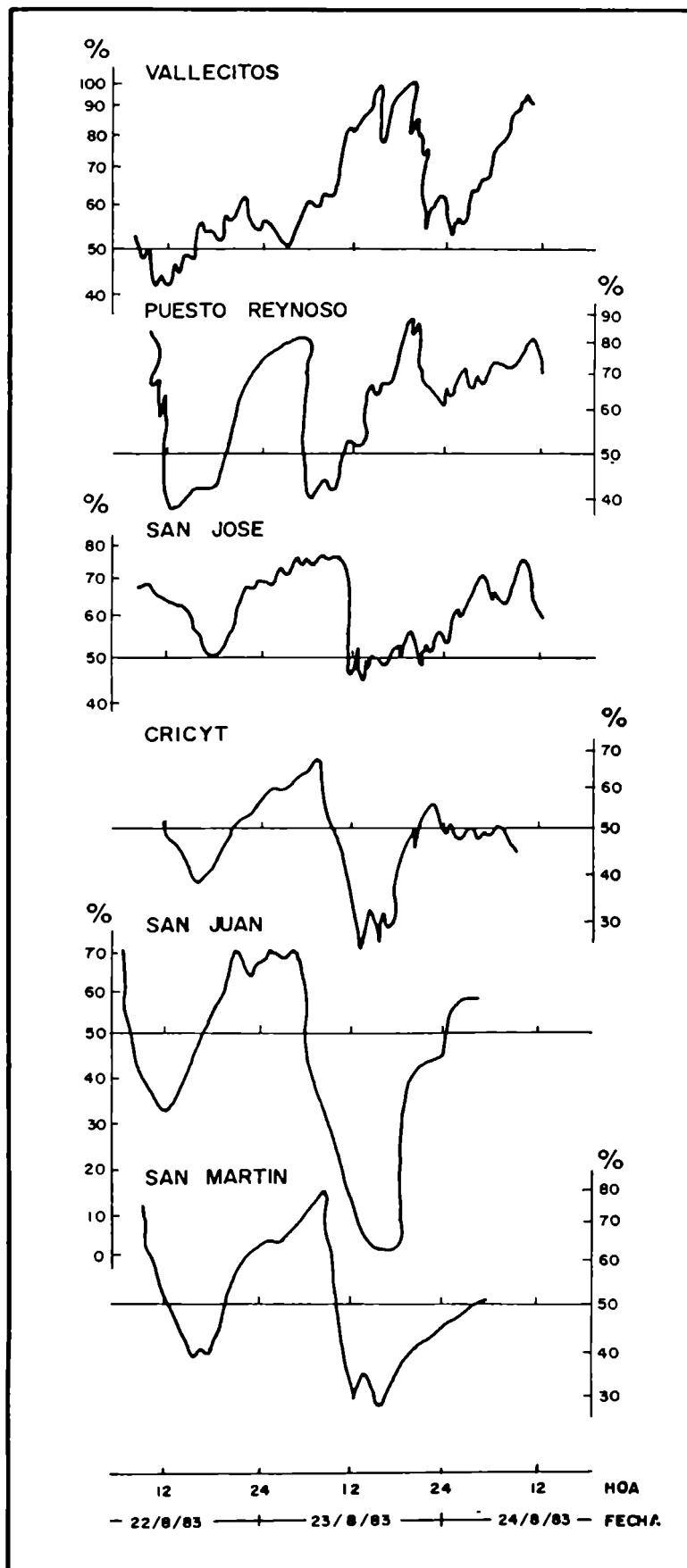


Fig. 3.48: Curvas de humedad relativa de la transecta latitudinal de los días 22, 23 y 24 de Agosto de 1983.

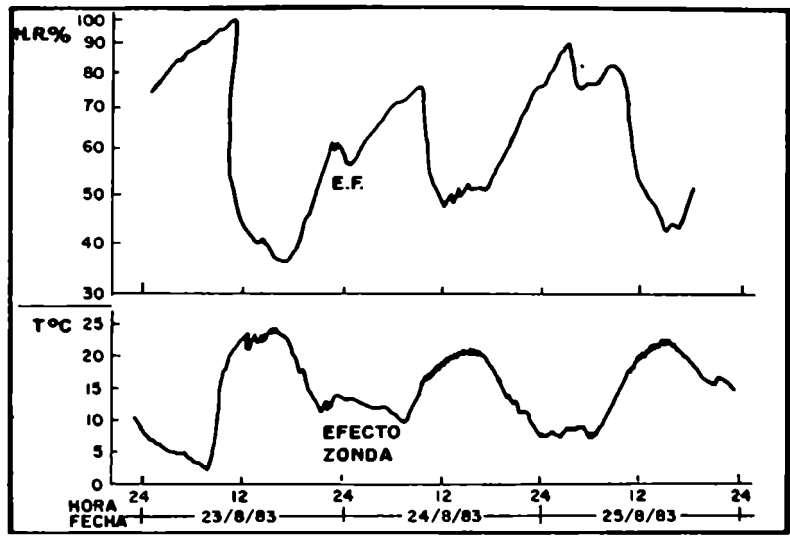


Fig. 3.49: Variación hidrotérmica en La Paz los días 23, 24 y 25 de Agosto de 1983 (efecto Zonda).

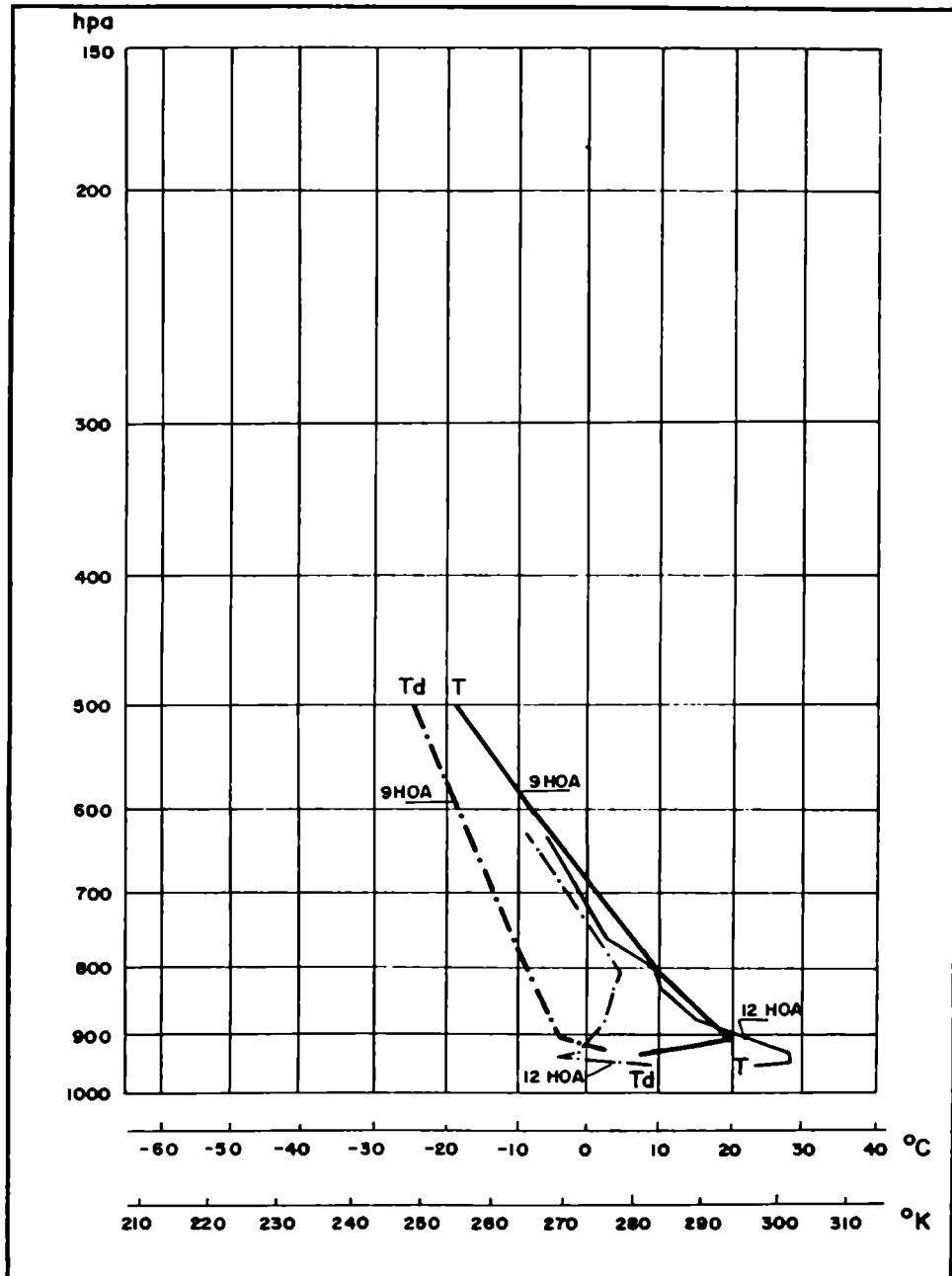


Fig. 3.50: Distribución vertical de temperatura y de punto de rocío a las 15 HOA y su comparación con la distribución de las 9 HOA (día 23/8/83).

### 3.6.3 Singularidades en la velocidad y dirección del viento

#### 3.6.3.1 En alta montaña -

El anemocinemostrama de Cristo Redentor (Fig. 3.51) indica que la mayor intensidad y rafasosidad del viento ocurre en la mañana del día 23 con ráfagas máximas que superan los 30 m/s.

Sus efectos se traducen en la oscilación de la presión atmosférica durante el período que dura la tempestad, registrándose descensos casi instantáneos de hasta 5 hPa, (Fig. 3.52).

En la alta cordillera, esta tempestad, asociada a nieve levantada por el viento (ventisca) se llama 'viento blanco' (ver Apéndice D).

#### 3.6.3.2 En precordillera -

Los gráficos de anemógrafos (Fig. 3.53) corroboran lo mencionado en 3.6.2 respecto de la existencia de zonas protegidas del Zonda y de otras zonas más próximas al llano donde ese efecto no se distingue (caso La Aguadita y San José).

#### 3.6.3.3 En el llano -

En San Juan, apenas finaliza el Viento Zonda, y se inicia el pasaje del frente frío se registran ráfagas del Sur superiores a las máximas registradas durante el fenómeno (Fig. 3.54). Esta particularidad que se observa en la mayoría de los casos de pasajes frontales inmediatos a la terminación del Viento Zonda en San Juan podría deberse a un factor orográfico debido al 'entubamiento' del aire frío causado en ese sector por la precordillera al Oeste de la ciudad y el cordón de 'Pie de Palo' al Este de la misma.

En San Luis, el flujo del Norte se intensifica horas antes de la aparición del Zonda en Mendoza o San Juan (Fig. 3.55).

Estas singularidades son halladas con frecuencia en los distintos casos particulares que se analizan.

### 3.6.4 Diagnóstico espacio-temporal en localidades cuyanas mediante el análisis sinóptico-secuencial

Las secuencias ilustradas en la figura 3.56 permiten sintetizar en forma integral las variaciones de los distintos elementos meteorológicos que acompañan el desarrollo del fenómeno.

En la ciudad de San Juan la nubosidad de tipo lenticular que aparece desde la madrugada actúa como un indicador predictivo. El viento Norte entre las 11 HOA y las 15 HOA corresponde al flujo de origen atlántico que se manifiesta en la región central del país y que logra influir en esta estación con un calentamiento significativo elevando la temperatura hasta 30o C a las 16 HOA. Esto hace que el Zonda iniciado a las 17 HOA, sea detectado a partir de la dirección del viento, acompañado de tormentas de polvo y del secamiento, y no por su efecto térmico.

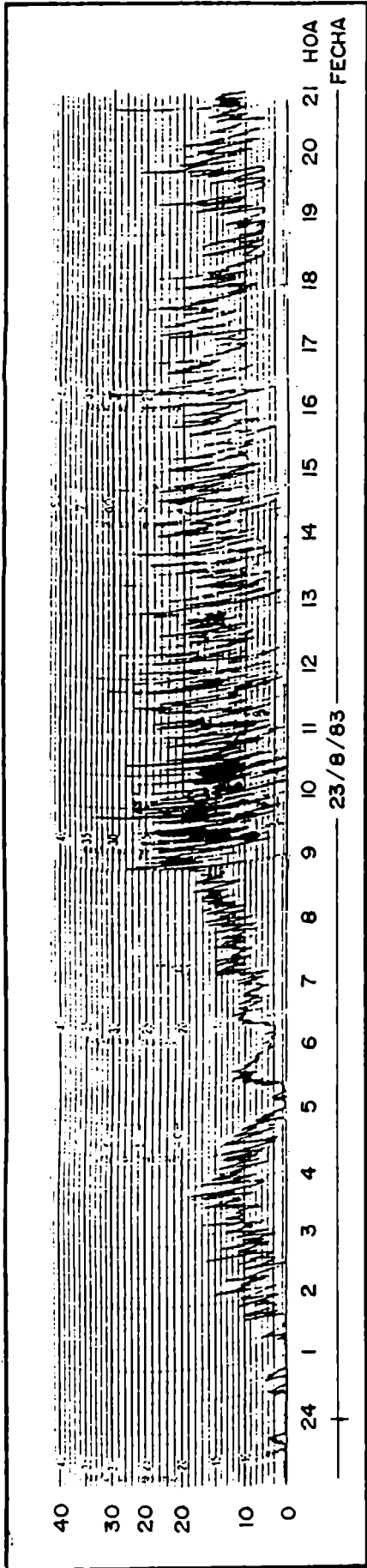


Fig. 3.51: Anemograma de Cristo Redentor del 23 de Agosto de 1983.

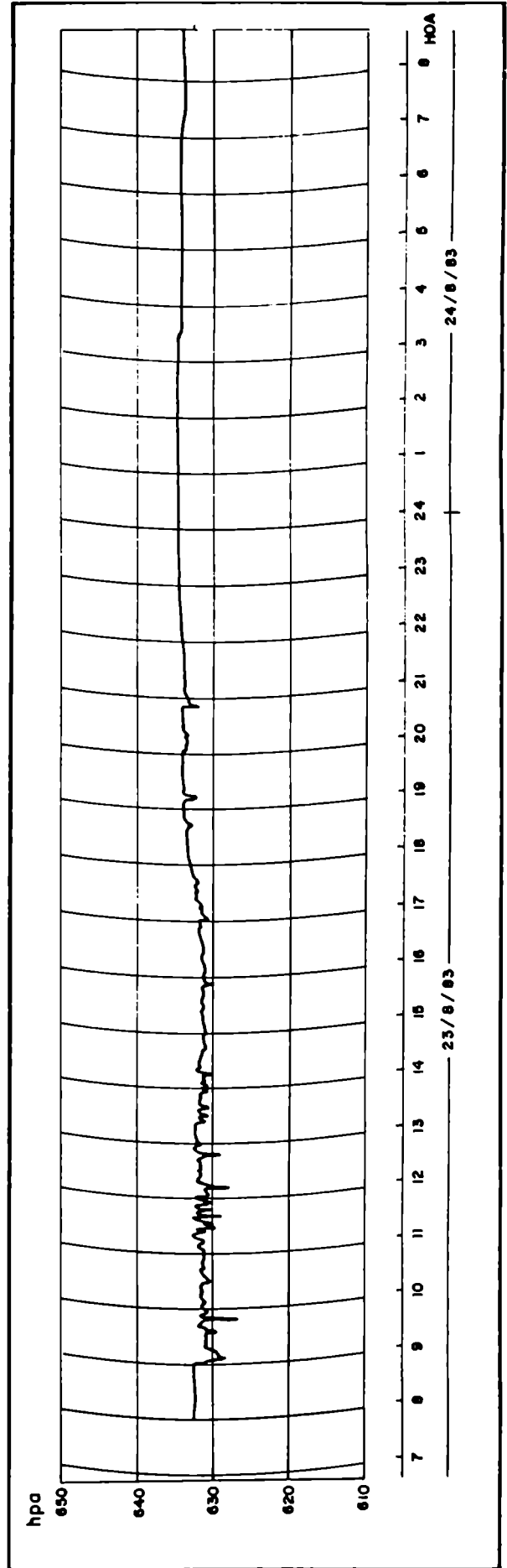


Fig. 3.52: Barograma de Cristo Redentor; día 23 de Agosto de 1983.

Fig. 3.53: Anemogramas de Vallecitos, La Asuadita y San José relacionados con el evento del 23/8/83.

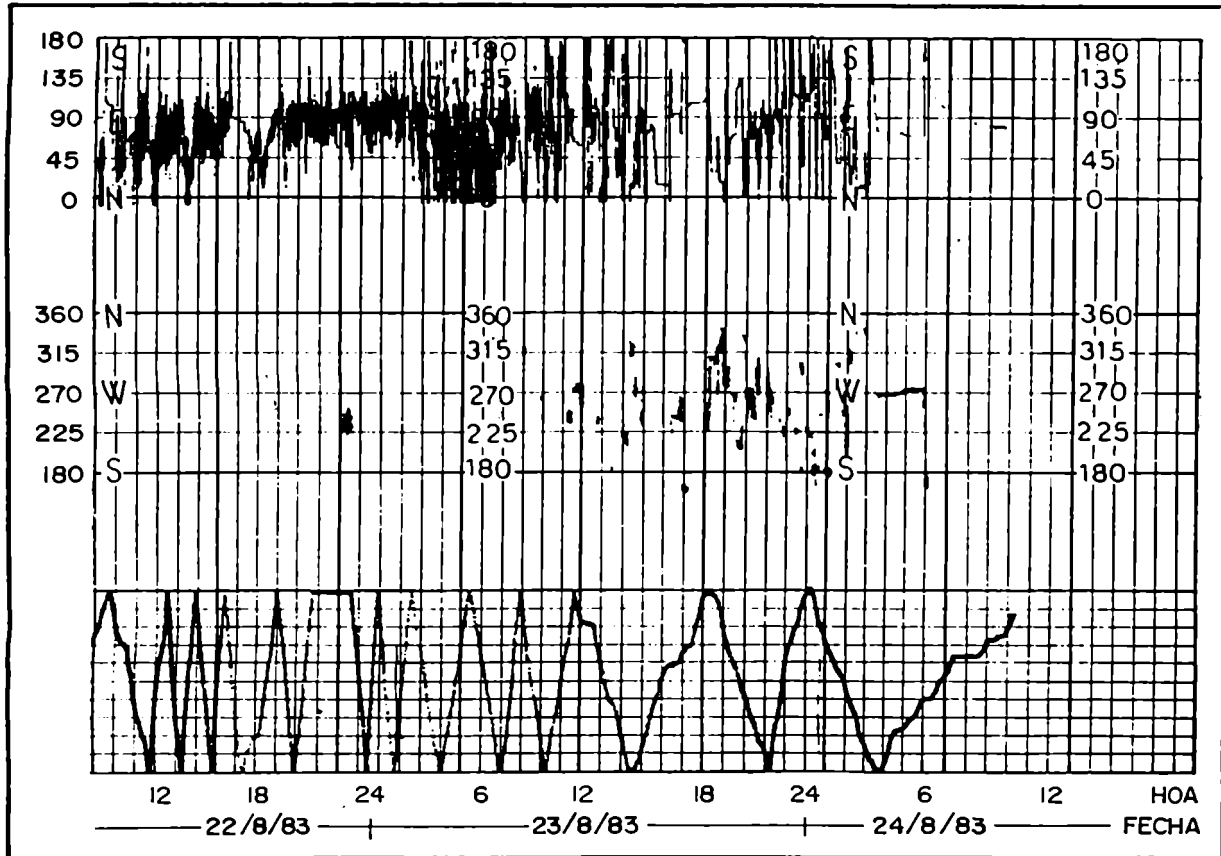


Fig. 3.53a: Vallecitos

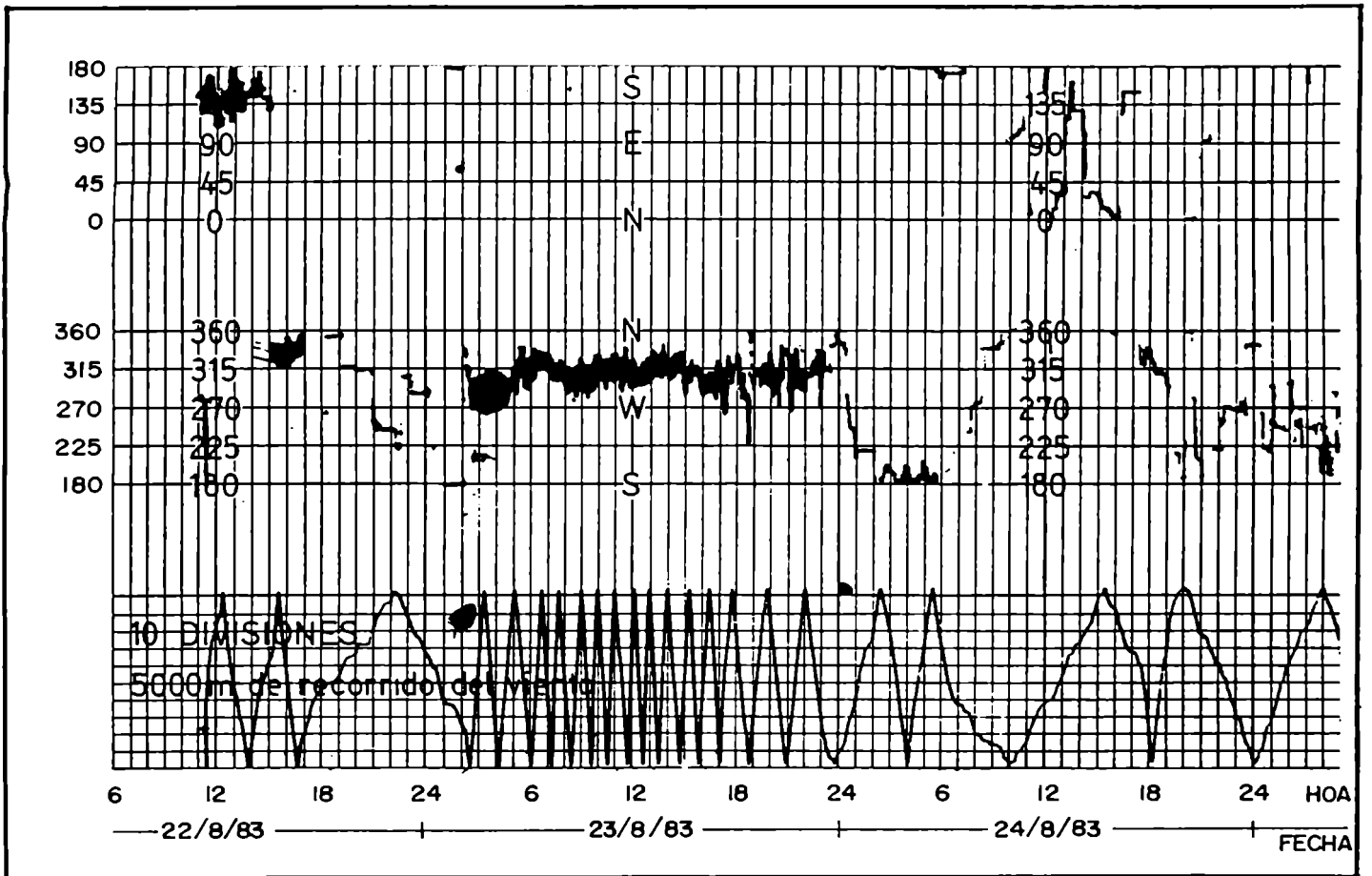


Fig. 3.53b: La Aguadita



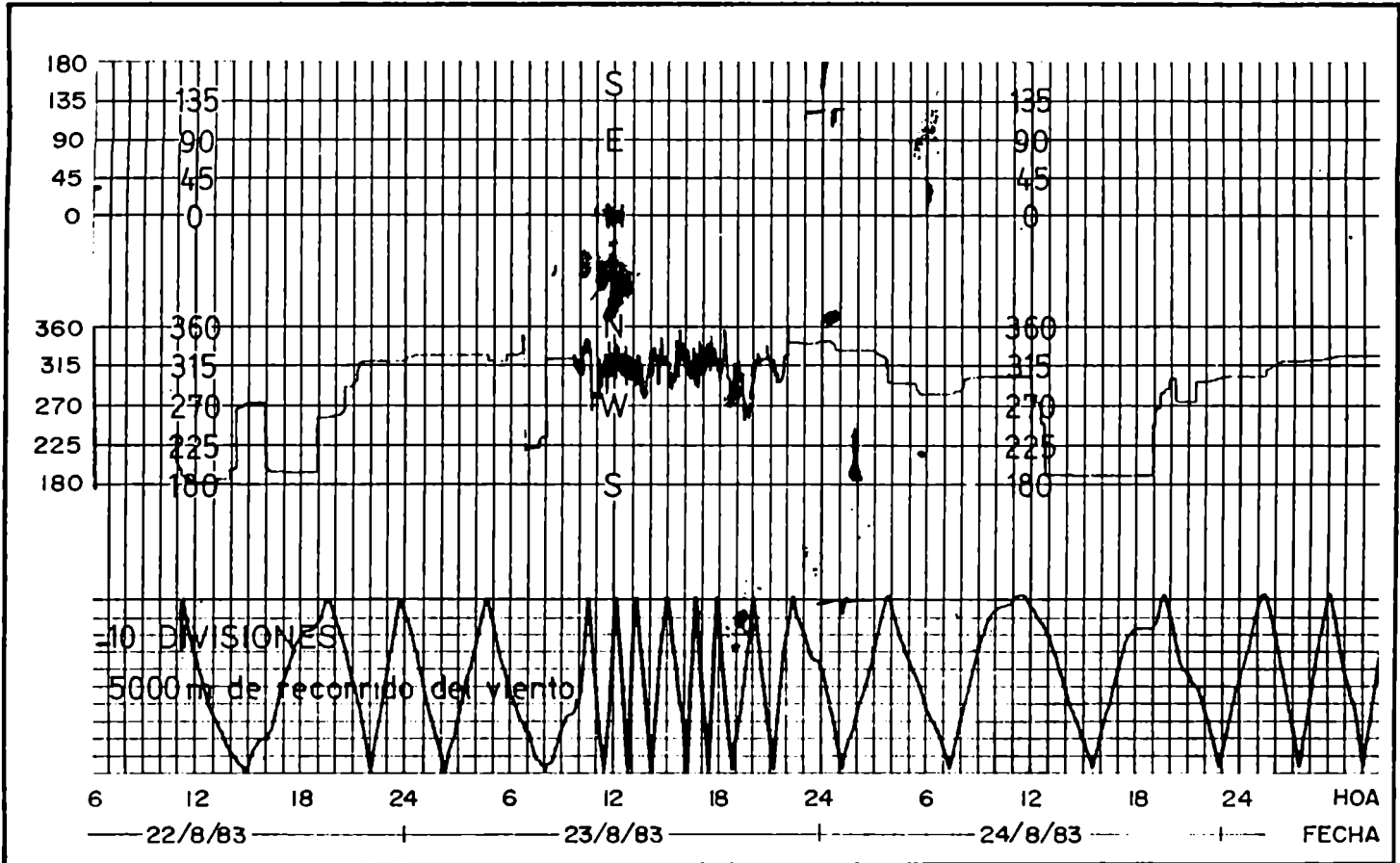


Fig. 3.53c: San José

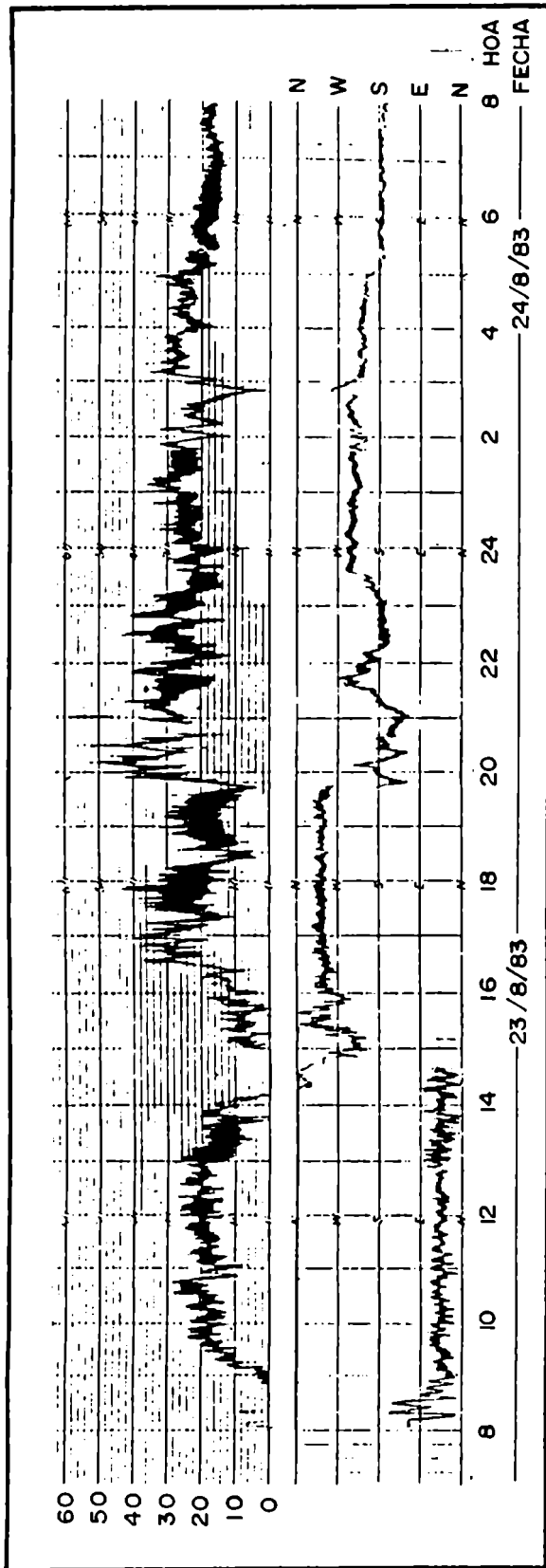


Fig. 3.54: Aneocienografía de San Juan del 23 de Agosto de 1983.

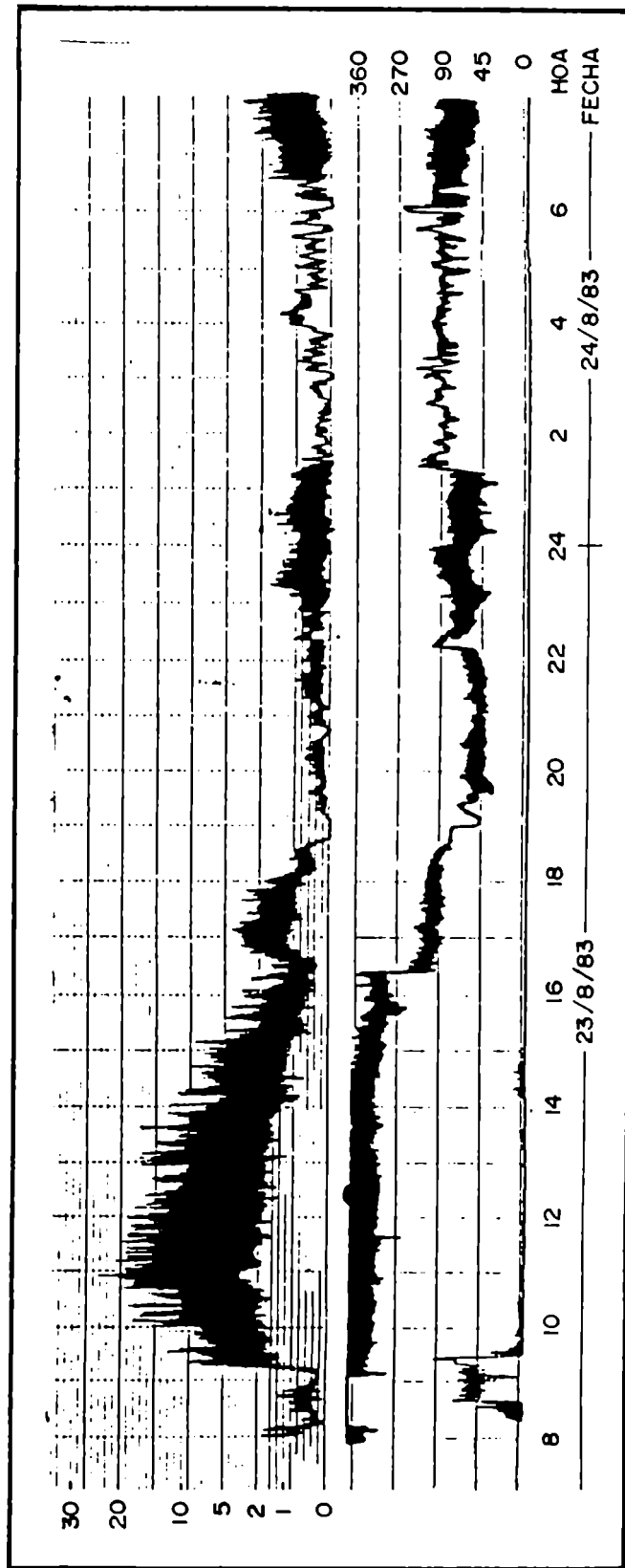


Fig. 3.55: Aneocienografía de San Luis del 23 de Agosto de 1983

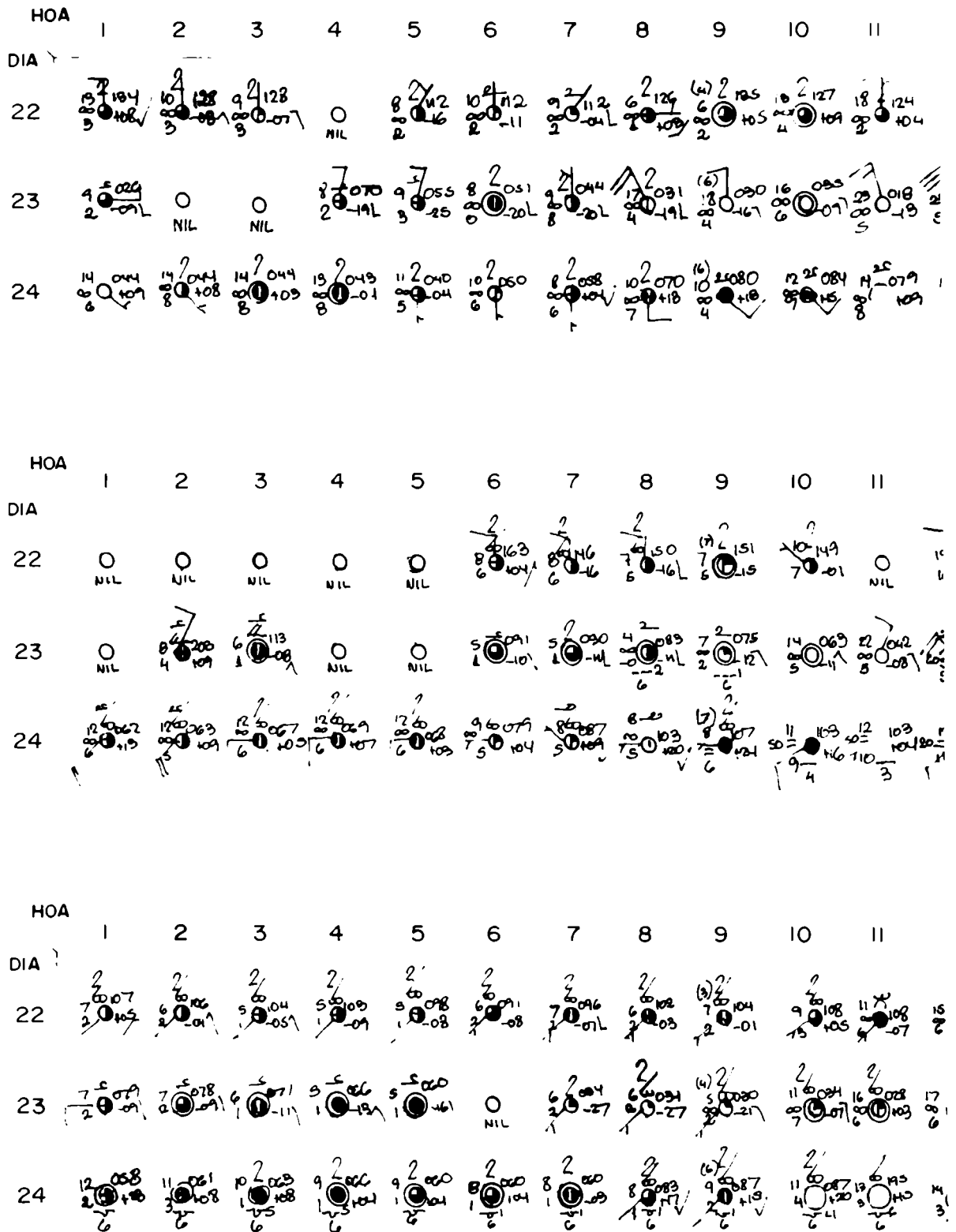
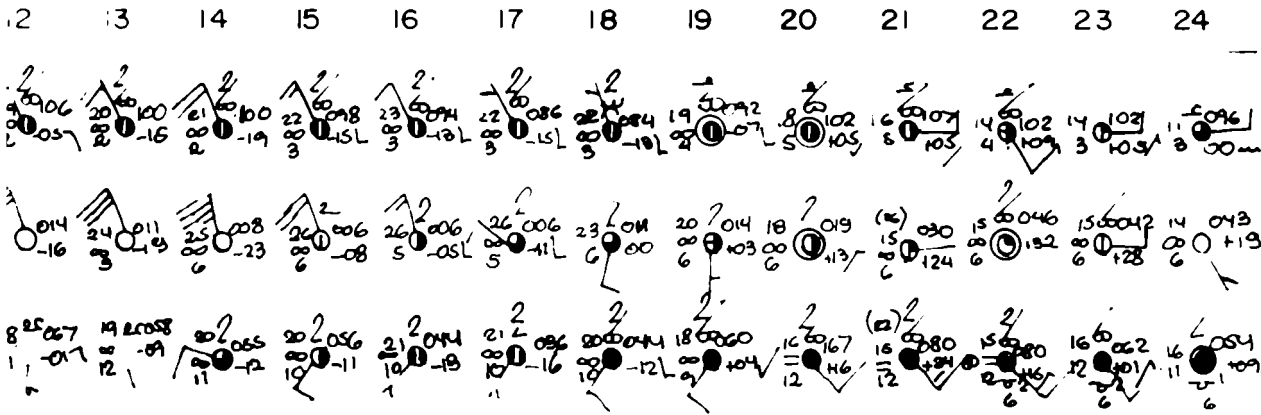
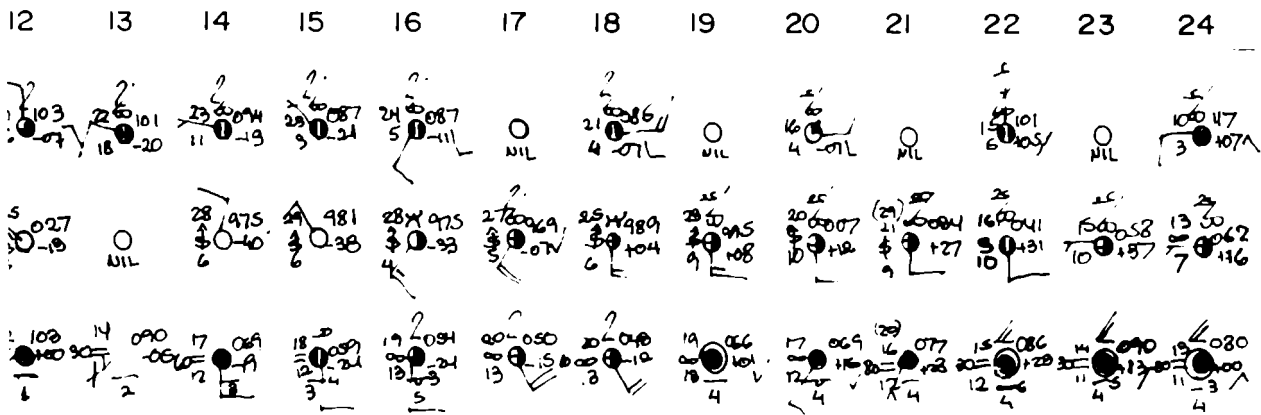


Fig 356 SECUENCIAS SINOPTICAS HORARIAS DE LOCALIDADES CUYANAS RELACIONADAS AI

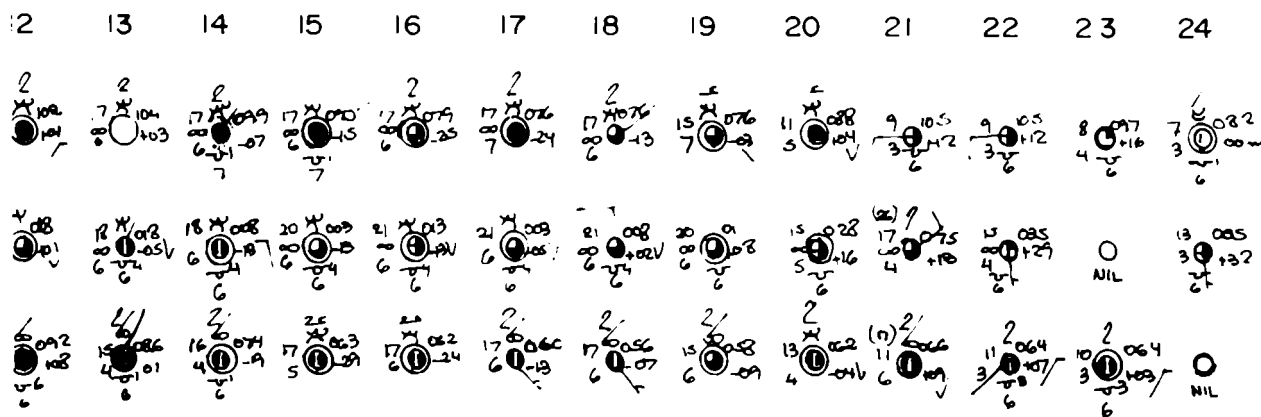
## SAN LUIS



## VILLA MERCEDES



## SAN RAFAEL



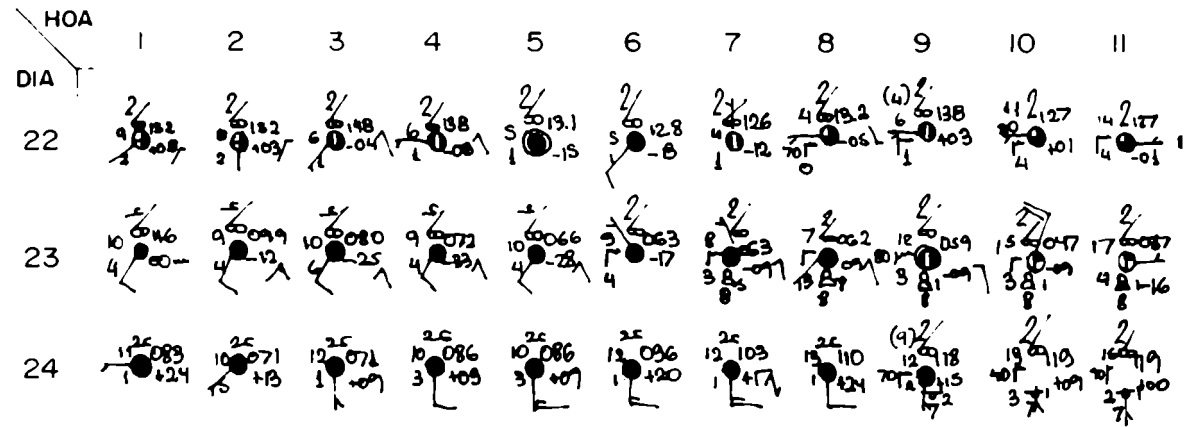
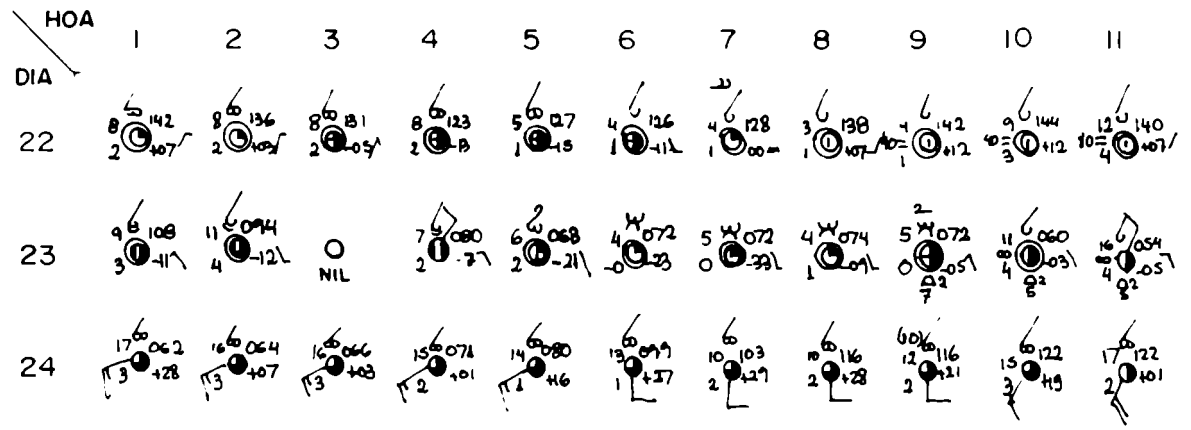


Fig. 3.56: SECUENCIAS SINOPTICAS HORARIAS DE LOCALIDADES CUYANAS RELACIONADAS

## SAN JUAN

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

## EL PLUMERILLO

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

## MALARGÜE

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

En el aeropuerto de Mendoza el flujo de origen atlántico se manifiesta mediante la nubosidad baja de tipo cumuliforme entre 7 HOA y 12 HOA, que luego será acumulada en las laderas orientales de la precordillera a partir de la aparición del efecto rotor observado a las 13 HOA (viento del Este a 15 nudos). El viento del Este a las 16 HOA y 17 HOA se debería al mismo efecto.

Las ciudades de San Rafael y de San Martín no presentan en esta oportunidad ni Viento Norte ni Viento Zonda. Solamente en esta última hay un ligero "efecto Zonda" evidenciado por los 24 °C de temperatura máxima.

En cambio en la ciudad de San Luis, donde el Zonda está ausente, el Viento Norte alcanza ráfagas de hasta 35 nudos a las 10:50 HOA.

Tanto en esta ciudad como en Villa Mercedes las temperaturas máximas (de 26 °C, y 29 °C, respectivamente) alcanzan valores semejantes a la provocada por el Zonda en El Plumerillo.

La ciudad de Malargüe presenta un flujo del Oeste, seco y moderado, sin variantes térmicas significativas. Se inicia a las 13 HOA y se mantiene en forma sostenida durante el resto del día. Se destaca la ausencia de precipitación presente o a la vista y la escasa nubosidad dominante.

### 3.7 CONCLUSIONES

El Viento Zonda se produjo por el ascenso y posterior mayor descenso orográfico de una masa de aire prefrontal fuertemente baroclínica.

En las cumbres de la cordillera el viento se inicia como un viento catabático frío, tipo "Bora", el que al calentarse adiabáticamente en su descenso alcanza el llano con alta temperatura. (Esto queda evidenciado por la tempestad de nieve con un enfriamiento pronunciado en Cristo Redentor).

Al nivel de las estaciones Vallecitos y Puesto Reynoso el Viento Zonda no produjo variaciones térmicas de significancia, pero se evidenció por una brusca e intensa disminución de la humedad.

El Viento Zonda pertenece en este caso al tipo de viento considerado genéticamente frío (Brinkmann, W.R., 1973).

El enfriamiento progresivo en las partes altas de la cordillera está asociado a la presencia de una vaguada, mientras que el pasaje de frente frío es posterior.

La situación sinóptica asociada se caracteriza por:

1. Una cuña de onda larga al Este de la región y una vaguada de onda corta entrante.
2. Un flujo moderado del Norte en Argentina central.
3. Una depresión migratoria entrando al Norte de la Patagonia con un frente frío acercándose a la cordillera desde el Oeste-Sudoeste.
4. Un frente caliente en el extremo Norte del país.

5. La DNOA ubicada mas al sur de su posición habitual.
6. La presión atmosférica en superficie inferior al valor normal del campo medio en casi todo el territorio nacional y anomalías negativas significativas en Cuyo, Neuquén y las islas chilenas de Juan Fernandez y Chiloé.
7. Una fuerte baroclinicidad en la zona produciendo pronunciada cortante vertical del viento y una fuerte componente transversal del viento a la cordillera y la cercanía de la corriente en chorro, indicando que el frente caliente tiene un rol importante en la producción del Zonda.

Las curvas de humedad relativa de las estaciones de Vallecitos y Puesto Reynoso del día 21 muestran según el método del Zonda histórico la presencia del Zonda por encima de los 1500 m.s.n.m. confirmando la existencia de lo que se ha definido como Zonda en altura, previo a su aparición en el llano.

Además del descenso adiabático del aire, la precipitación orográfica que se observa en este caso (dentro de lo que se define como 'pared del Zonda') a contribuido a un aumento adicional de la temperatura debido a la liberación de calor latente.

Un factor que en este caso facilitaría la aparición del Viento Zonda en el llano, es el hecho que el aire de origen atlántico a la hora del comienzo del Zonda posee una temperatura semejante a la alcanzada por el Viento Zonda como lo demuestran las temperaturas máximas registradas en San Luis y Villa Mercedes. Asimismo en San Juan la temperatura del Viento Zonda supera sólo en un grado a la que se registraba antes de su iniciación.

En este caso el flujo del aire no lo hace al estilo de una 'catarata' (Brinkmann, W.,R.,1973) sino como un 'chorro descendente' a alguna distancia (y desde alguna altura) del perfil del terreno en la falda oriental de la cordillera, provocando un rotor en ese espacio y la formación de lasunas de aire húmedo en las pendientes orientales de la cordillera frontal (Cordón del Plata).



## B. CASOS DE VIENTO ZONDA SEVERO. COMPARACION CON EL CASO DEL 23/8/83

A partir de la climatología de casos severos que figura en el Capítulo 2, de los resultados obtenidos en las consideraciones referentes a varios casos severos mencionados en el Apéndice B y del análisis realizados para el caso típico o moderado del 23/8/83 se realizó un análisis comparativo que permitió establecer diferencias de comportamiento que se sintetizan en la tabla siguiente:

TABLA 3.1 DIFERENCIA ENTRE ZONDA MODERADO Y EVENTOS SEVEROS

MODERADO	SEVEROS
El Viento Zonda ocurre cuatro días después del pasaje de una onda larga acompañando el paso del eje de una vasuada de onda corta.	Se presenta en Mendoza durante el desarrollo de una onda larga en general tres o cuatro días antes del paso del eje de vasuada.
Las condiciones previas indican a un anticiclón migratorio que se retira hacia el Este.	El valor central de la presión del anticiclón migratorio es menor.
Advección del Noreste en Argentina Central.	El flujo del Norte o Noreste es más intenso.
Depresión frontal migratoria	La depresión frontal migratoria es más profunda y se encuentra más al Sur
Se observa un frente frío orientado en sentido noroeste-sudeste.	El frente frío asociado tiene mayor intensidad y se halla aproximadamente a la misma distancia.
La DNOA desplazada más al sur de su posición habitual determina un gradiente significativo de presión entre Santiago y Mendoza.	Se observa el mismo comportamiento, pero el gradiente horizontal de presión entre Santiago y Mendoza es más intenso.
Área de precipitación en el centro y Sur de Chile y en la alta cordillera cuyana.	Las precipitaciones observadas en el lado chileno son más abundantes y se presentan con características de temporal.
El efecto rotor se observa claramente	El efecto rotor está ausente o es poco claro
El aire desciende desde niveles superiores dejando lasunás protegidas en lugares apropiados de la topografía	El aire desciende desde niveles superiores en forma de catarata o cascada siguiendo el relieve.
Acumulación de humedad residual en la ladera oriental de la precordillera	Ausencia de este efecto.
Iniciación en horas de la tarde	Tendencia a comenzar en horas de la noche o de la mañana.

#### MODERADO

La nubosidad lenticular y de la pared del Zonda se observa poco antes de su aparición

Valores de presión por debajo de la media de la época desde 48 horas antes

La estructura vertical del viento indica una diferencia respecto de la forma media poco antes de su aparición (6 a 12 horas antes).

Consideraciones relativas a estas diferencias encontradas fueron presentadas parcialmente en Norte, F.A., 1986a.

#### SEVEROS

Nubosidad lenticular y de pared del Zonda abundante desde 48 horas antes de su aparición. Tendencia a cubrir totalmente el cielo en la ciudad de Mendoza durante el desarrollo del evento en el llano.

Igual que en el moderado pero con una disminución más pronunciada.

Igual que en el caso moderado pero presentando Zonda a una altura muy cercana a la superficie desde más de 24 horas antes de su aparición.

## CAPITULO 4

### CONDICIONES SINOPTICAS Y AEROLOGICAS ASOCIADAS AL ZONDA

#### 4.1 ANALISIS DE LOS CAMPOS MEDIOS DE PRESION

Con los datos de presión atmosférica de superficie de las 12 UTC (9 HOA) correspondientes a 81 estaciones del cono sur de Sudamérica cuya lista figura en el Apéndice C se confeccionaron mapas medios para analizar las condiciones básicas asociadas al Viento Zonda. Se consideraron los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto del período 1974/83.

##### 4.1.1 El campo básico medio total

La figura 4.1 presenta el campo de presión media correspondiente al total de días de los cuatro meses seleccionados.

El cinturón subtropical de altas presiones se encuentra disminuido en intensidad sobre el continente.

La isobara de 1017 hPa muestra una zona de menor presión al sur de Catamarca correspondiente a la DNOA, Depresión del Noroeste Argentino.

El mapa no difiere sustancialmente del campo medio anual [Hoffmann, J, 1975, Atlas Climático] y en términos generales los valores registrados entre 30 oS y 35 oS superan a los del campo anual.

##### 4.1.2 La presión los días con Viento Zonda

Considerando como 'días de Zonda en superficie' a aquellos donde el viento se presentó en San Juan y/o El Plumerillo se obtuvo el mapa de figura 4.2.

En el se destaca una vasuada cuyo eje coincide aproximadamente con el meridiano 66 o Oeste entre 33 o Sur y 40 o Sur siendo esta la configuración más característica para días de Viento Zonda.

El anticiclón semipermanente del Océano Pacífico está desplazado más al norte que su posición media (figura 4.1). La diferencia de presión entre Valparaíso y El Plumerillo ha aumentado de 0.7 hPa a 8.3 hPa.

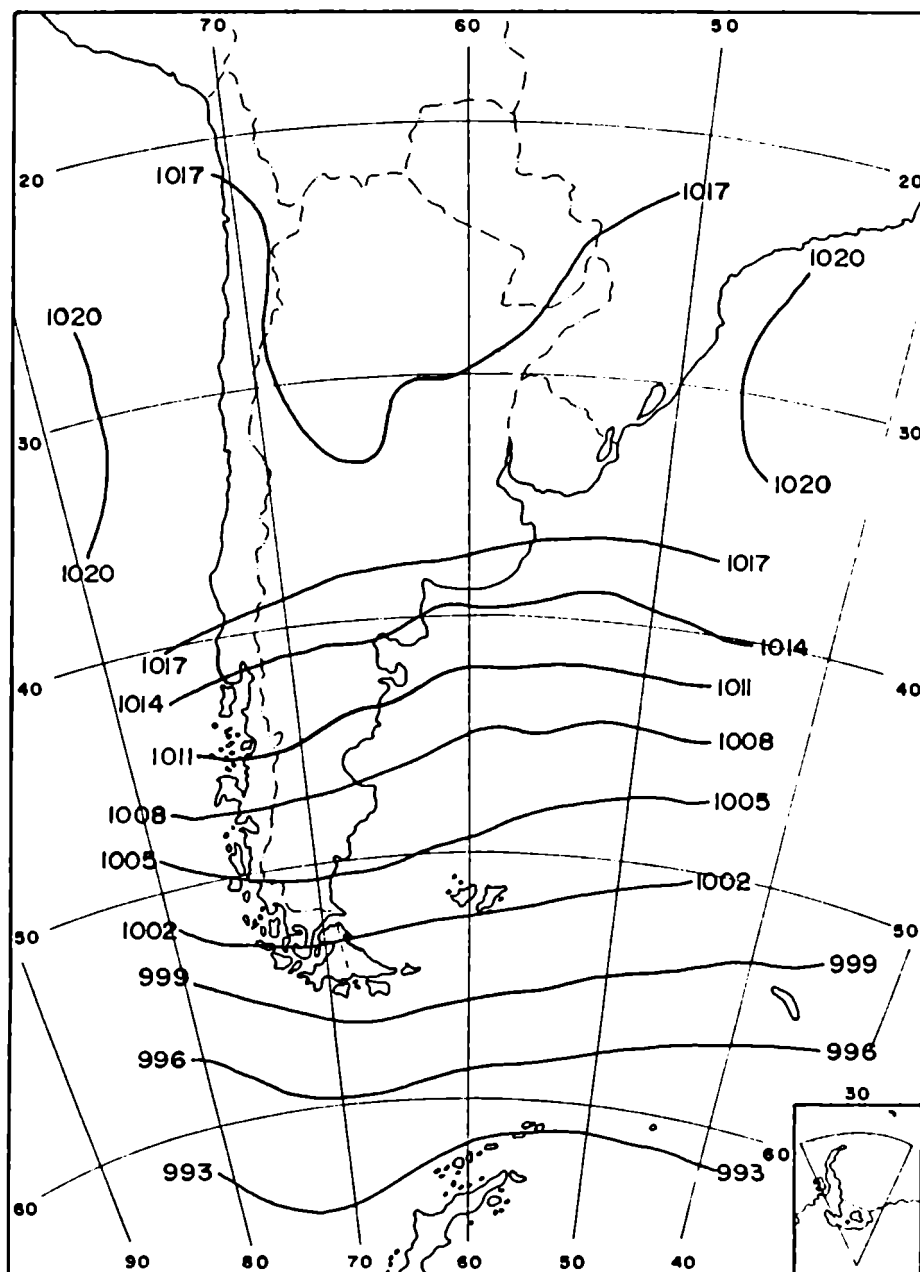


Fig. 4.1: Campo medio de la presión atmosférica a nivel del mar para los inviernos del período 1974/83 a las 12 UTC (campo bórico medio total).

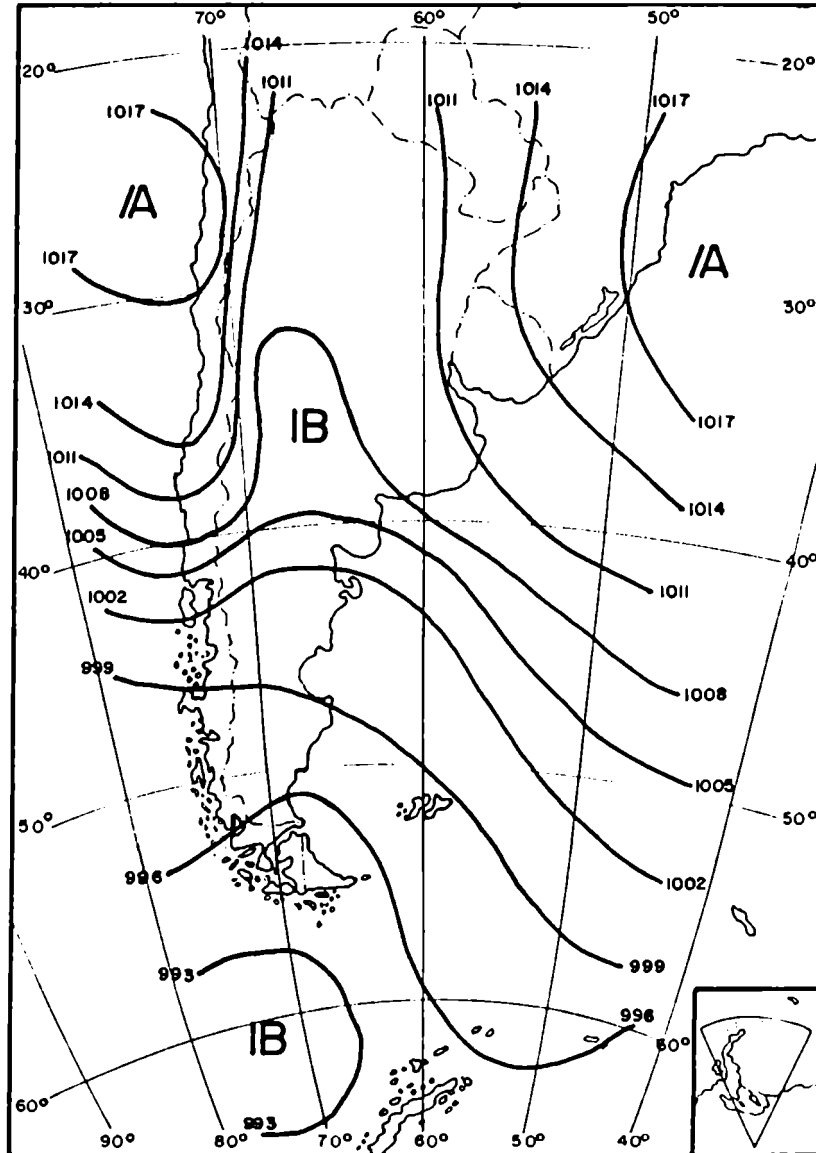


Fig. 4.2: Campo bórico medio de 12 UTC de días de Zonda de los inviernos del período 1974/83,

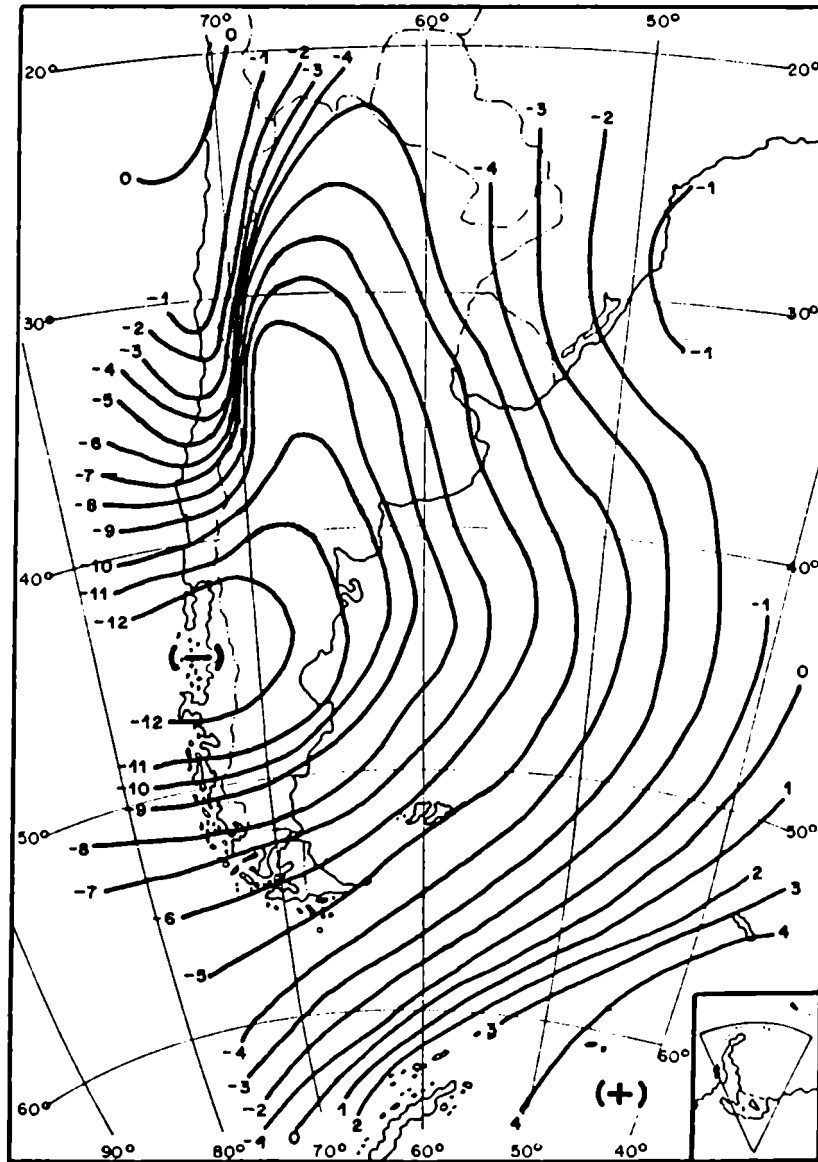


Fig. 4.3: Anomalías del campo bérico medio de días con Zonda respecto del campo medio total.

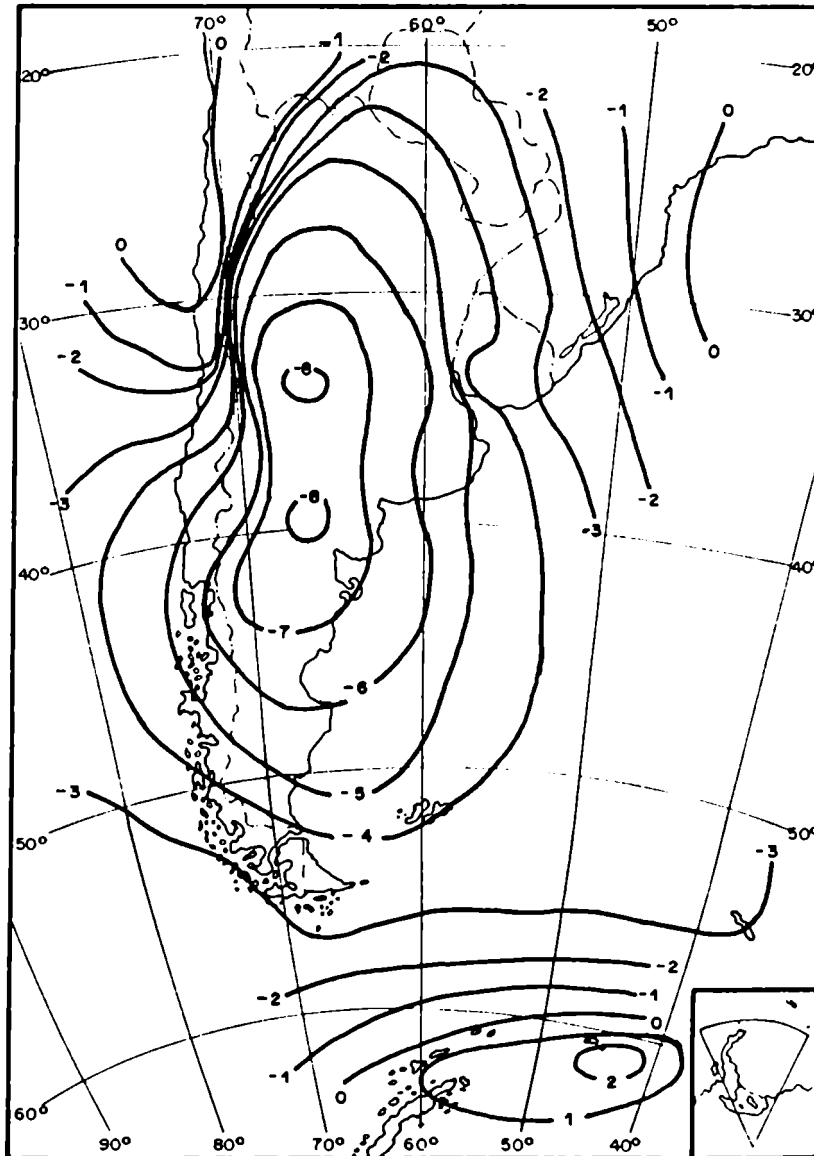


Fig. 4.4: Campo isalobárico medio de días con Zonda, de los inviernos del periodo 1974/83 a las 12 UTC.

La figura 4.3 indica las anomalías que se observan al comparar los valores medios obtenidos los días de Zonda con los del grupo total de días.

En términos generales los valores de presión para estos días son inferiores a los obtenidos al promediar los de los cuatro meses seleccionados. Solamente son superados en la península antártica y las Islas Orcadas.

Llama la atención el campo netamente perturbado con un centro de anomalías positivas cerca de las Islas Orcadas del Sur y negativas sobre la Isla Chiloé (Chile) y el Oeste de Chubut (Argentina), indicando que la latitud normal de las perturbaciones de 55 a 60 o Sur se halla desplazada hacia el Norte. En cuanto a la fase puede aseverarse que el Zonda se produce cuando dichas perturbaciones están por penetrar en el continente.

La figura 4.4 indica el campo isalobárico medio que se obtiene los días de Viento Zonda en el período invernal seleccionado. Se pueden destacar como relevantes los centros negativos ubicados respectivamente sobre la provincia de San Luis y en el centro de Río Negro con valores semejantes (-8 hPa). El primero se debe a factores termo-orográficos relacionado con el desplazamiento de la DNOA hacia el sur de su posición habitual. El segundo, a factores dinámicos indicando la aproximación de una perturbación proveniente del Océano Pacífico.

#### 4.1.3 La presión el día anterior al evento

La configuración bérica media del día anterior al Viento Zonda en el llano está indicada en figura 4.5. Se observan diferencias respecto a la figura 4.2 en cuanto a la posición de los anticiclones semipermanentes, encontrándose más al sur el del Océano Pacífico y más al oeste el del Atlántico.

Los valores medios de presión se asemejan más al campo medio general que al de día con Zonda, en prácticamente toda la región considerada.

La celda anticiclónica observada sobre el sur de las provincias de Entre Ríos y Santa Fe estaría relacionada con la posición que alcanza esos días el anticiclón migratorio procedente del Sudoeste (Capítulo 2).

Además, los valores medios del día previo escasamente logran identificar a la DNOA presentando solamente un campo de poco gradiente en el Norte Argentino.

El campo bérico medio del día previo al Viento Zonda permite inferir la posibilidad de ocurrencia del fenómeno si es acompañado por el mapa de anomalías (figura 4.6).

El centro negativo ubicado en 45 o Sur y 80 o Oeste sobre el Océano Pacífico indica que la perturbación ya se está aproximando al continente.

El campo isalobárico medio correspondiente al día precedente al Zonda está representado en la figura 4.7.

Una disminución de la presión respecto al día anterior se observa en la región occidental y meridional de Argentina, acentuada en el Pacífico Sur frente a Chiloé indicando que la depresión se aproxima, en forma semejante al caso de las anomalías.



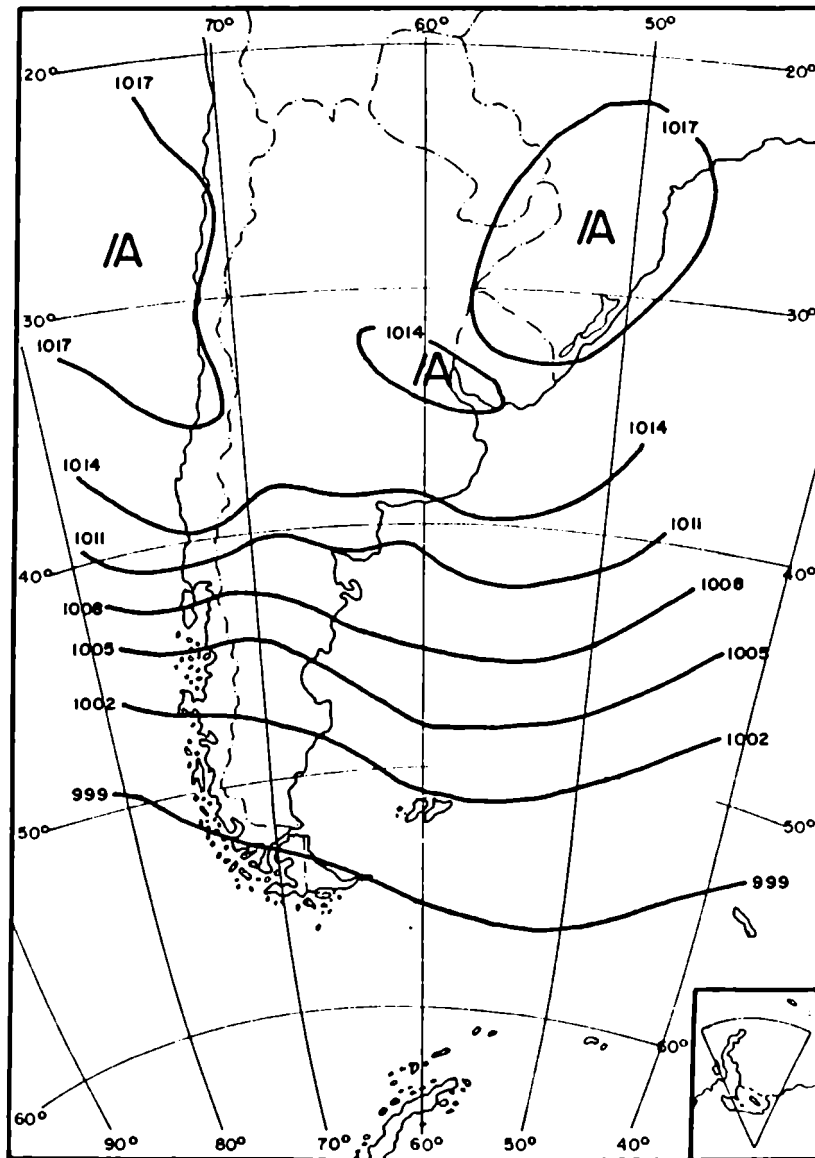


Fig. 4.5: Campo bórico medio del día anterior al Zonda, de los inviernos del periodo 1974/83 a las 12 UTC.

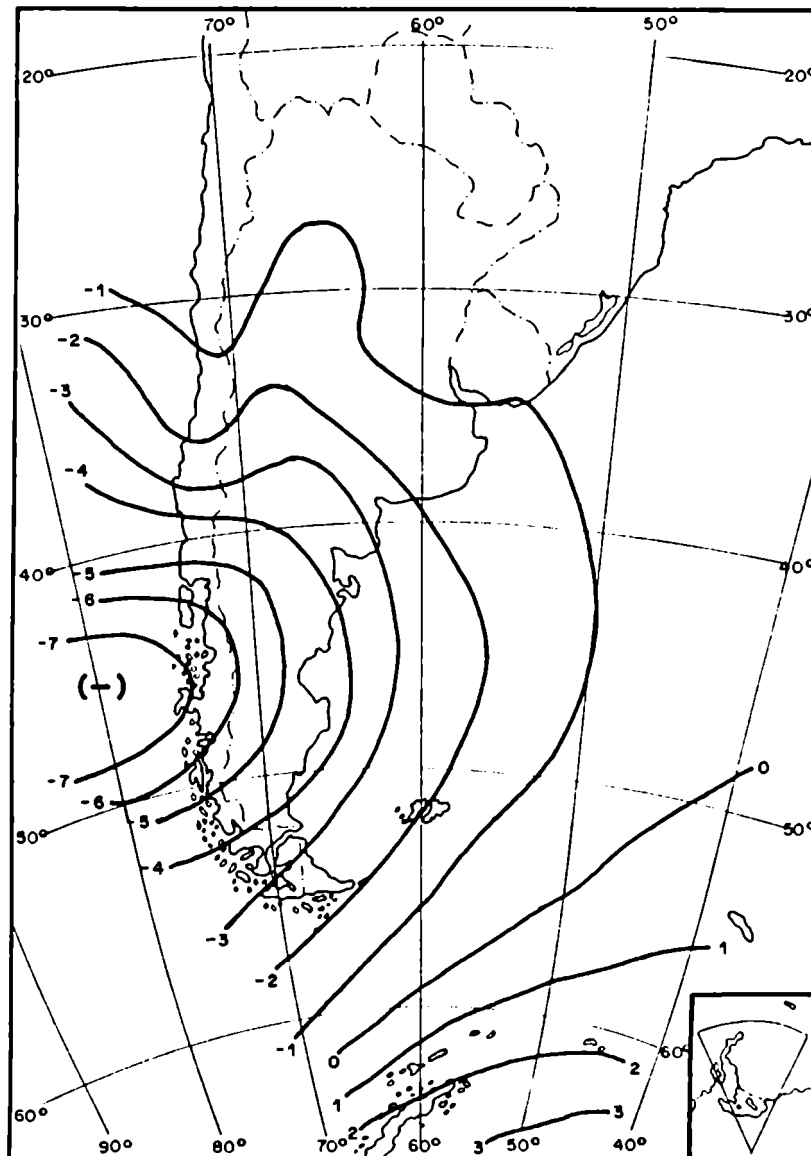


Fig. 4.6: Anomalías del campo bórico medio del día anterior al Zonda respecto del campo bórico medio total.

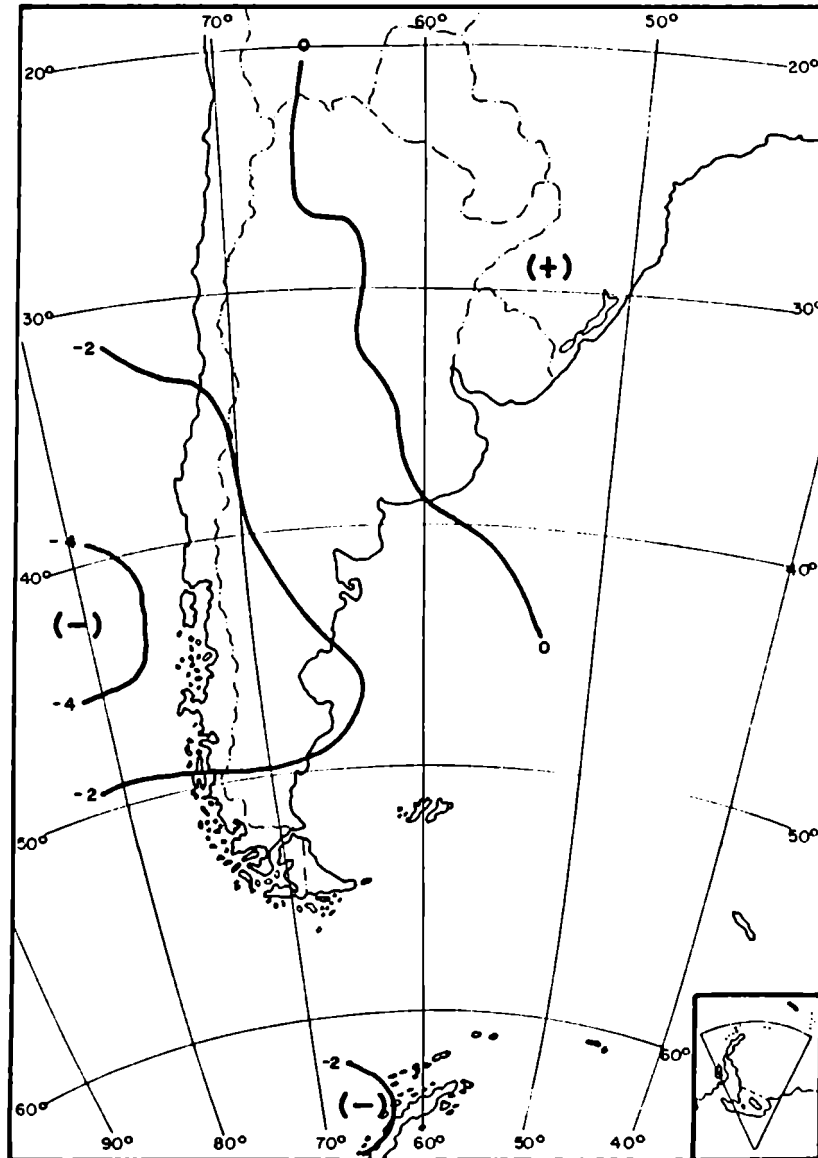


Fig. 4.7: Campo isalobárico medio del día anterior al Zonda, de los inviernos del período 1974/83 a las 12 UTC.

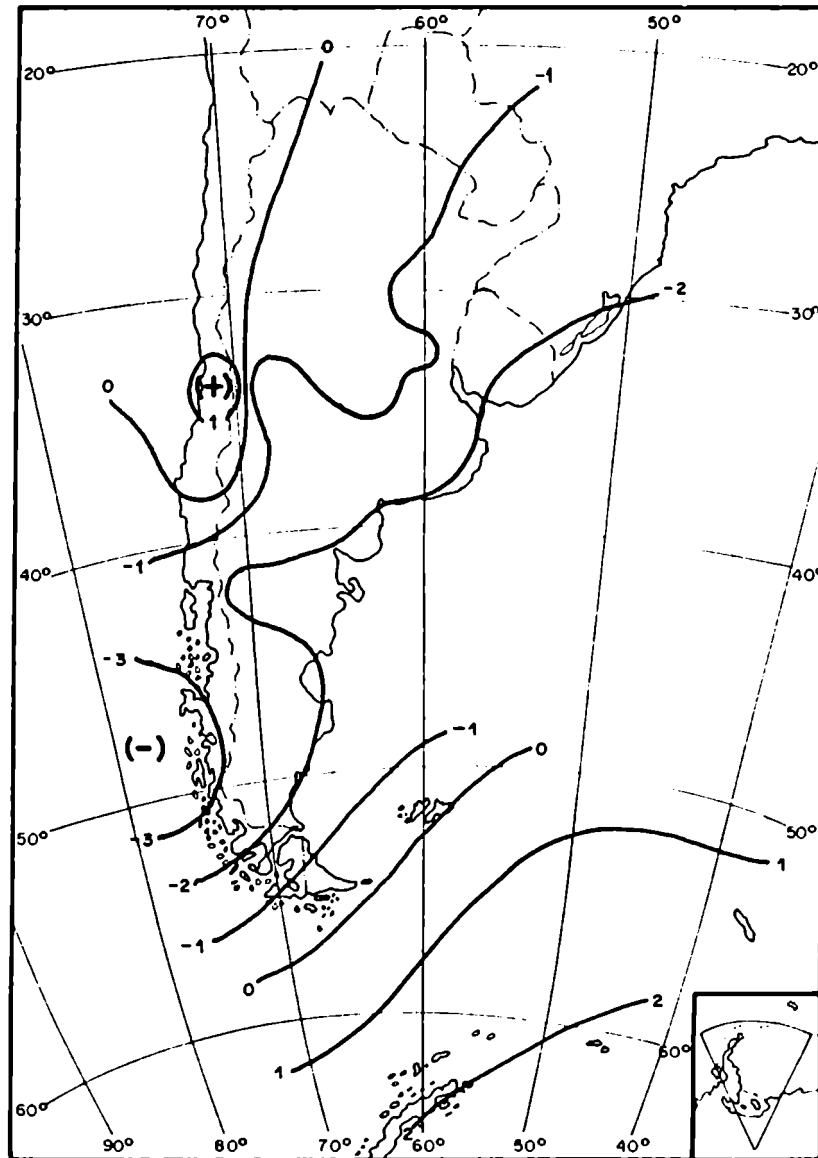


Fig. 4.8: Anomalías del campo bórico medio de dos días antes del Zonda, respecto del campo bórico medio total.

#### 4.1.4 La presión dos días antes del fenómeno

La figura 4.8 expresa las anomalías de presión, respecto del campo bórico medio total, unas 48 horas antes que se registre Zonda en el llano.

Ahora el centro negativo del Pacífico se encuentra más al sur que en los casos anteriores y aparece un centro positivo en Chile central que tampoco se detecta en las otras figuras de anomalías. Esto impide que con esta información se pueda inferir la ocurrencia de Zonda con 48 horas de anticipación. Solamente se asemejan las anomalías positivas al sudeste de Malvinas (Islas Orcadas).

#### 4.1.5 La presión los días de Zonda en altura

De acuerdo al concepto de días con Zonda en altura definido en el Capítulo 2 se agruparon los días así clasificados calculándose el campo bórico medio (figura 4.9).

Con respecto al mapa medio total se ve una leve intensificación de la vaguada al Oeste del país y presiones en general unos 3 hPa más bajas en el Norte de la Patagonia.

El cinturón subtropical de altas presiones está menos interrumpido que en los casos de las figuras 4.2 y 4.5.

Si bien hay algunos días de Zonda en altura que coinciden con los días previos de Zonda el llano, los respectivos campos medios difieren entre sí.

#### 4.1.6 La presión los días sin Zonda

La figura 4.10 indica el campo bórico medio para días sin Zonda en el llano ni en altura, que es distinto a los mencionados anteriormente incluido el campo medio general.

La zona anticiclónica ubicada al sur de Mendoza que reemplaza a la vaguada normalmente situada sobre el Oeste de la Argentina y el flujo del sudoeste en la Patagonia se asocian al predominio de aire frío en el centro y sur del país.

#### 4.1.7 La presión el día posterior al fenómeno

La figura 4.11 presenta al campo isalobórico medio correspondiente a los días inmediatos posteriores a la ocurrencia de Viento Zonda en el llano.

El centro positivo ubicado sobre la Isla Chiloé se relaciona con la presencia de un anticiclón que penetra al continente por esas latitudes. El mayor gradiente isalobórico en la región central del país (San Juan, norte de San Luis, Córdoba y Provincia de Buenos Aires) indica la existencia de un frente frío en esas zonas.

Los valores negativos al este del meridiano 55 o Oeste estarían asociados al desplazamiento hacia el Océano Atlántico de las perturbaciones que se aproximaban desde el Océano Pacífico en los campos medios anteriores.

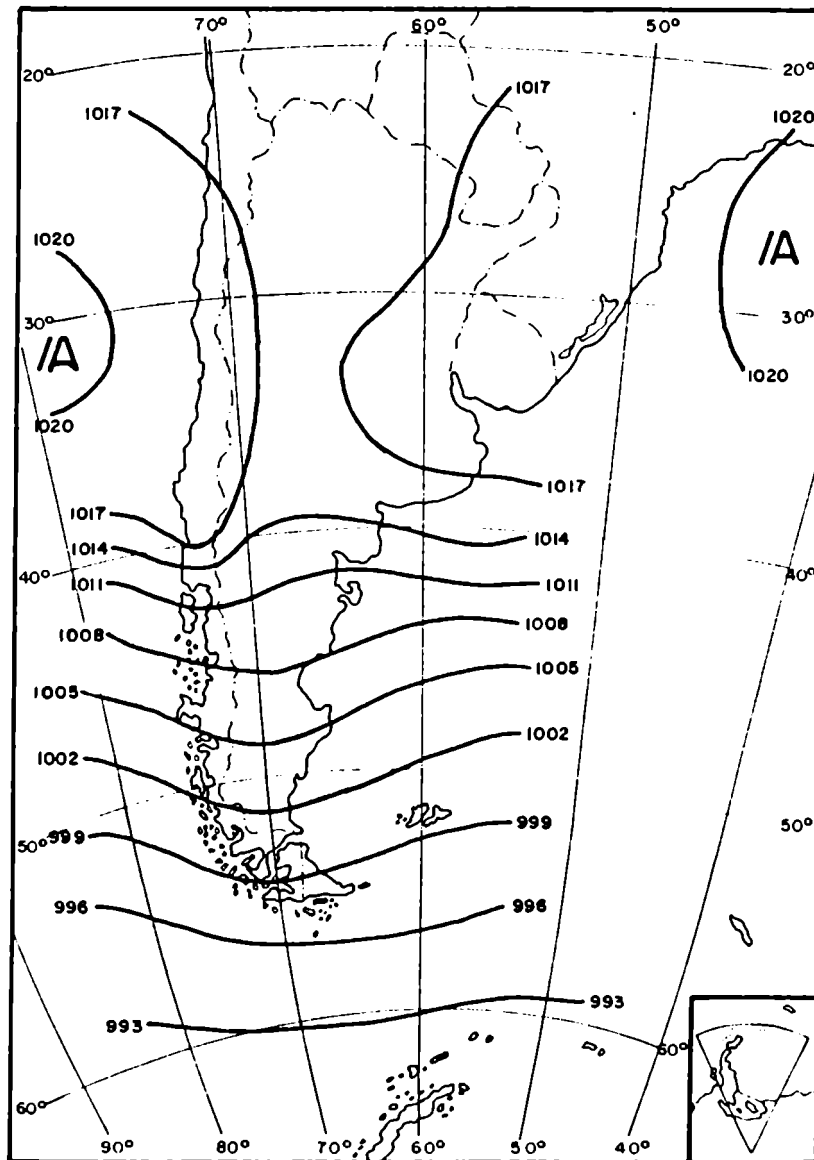


Fig. 4.9: Campo bórico medio de días con Zonda en altura, de los inviernos del período 1974/83 a las 12 UTC.

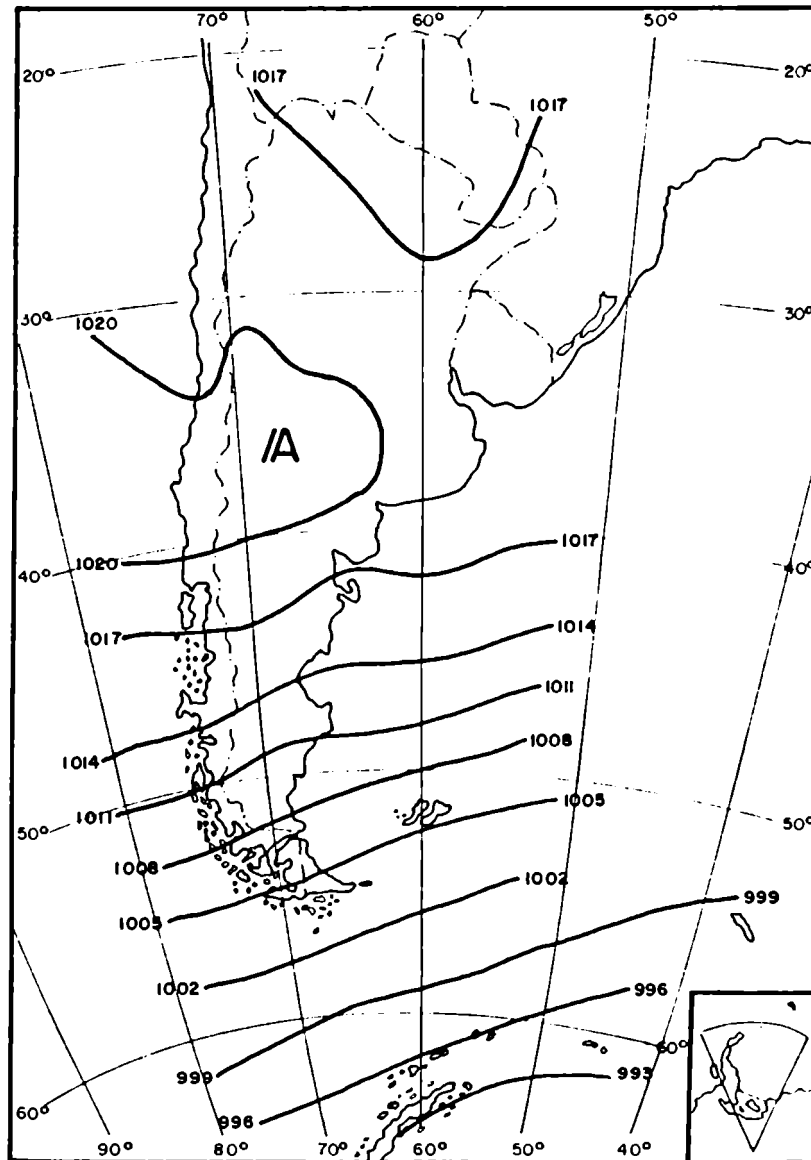


Fig. 4.10: Campo bórico medio para días sin Zonda ni en el llano ni en altura, inviernos del período 1974/83 a las 12 UTC.

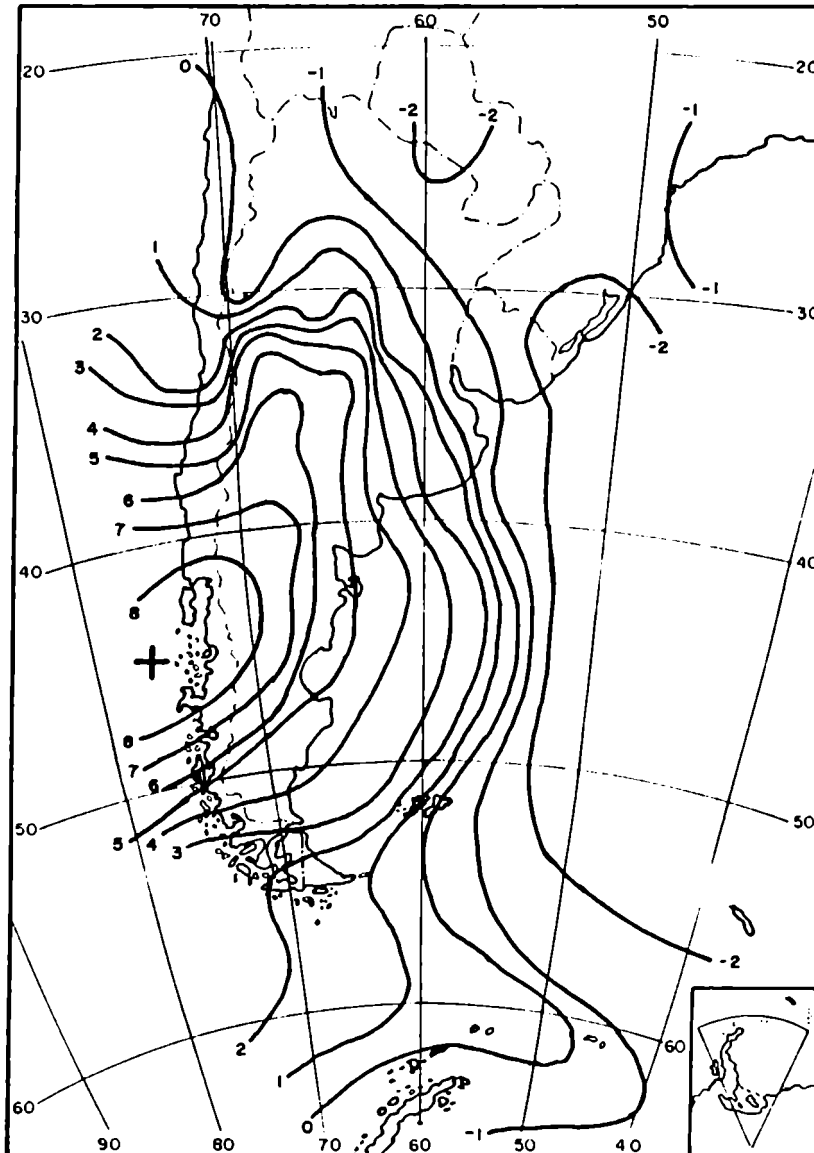


Fig. 4.11: Campo isalobárico medio del día posterior al de Zonda, inviernos del período 1974/83 a las 12 UTC.



#### 4.2 EL VIENTO ZONDA Y LA PROXIMIDAD DE FRENTE FRÍOS

Se tomaron casos de Viento Zonda seleccionados al azar (por disponibilidad de datos) ubicando con la información de secuencias horarias la hora de comienzo de los mismos.

Se pudieron analizar trece casos de El Plumerillo, anotándose la presencia o no de un frente cercano y su dirección.

En el 100 % de los casos había un frente a una distancia menor de 1000 Km mientras que en el 55 % de ellos, el frente se hallaba a una distancia igual o menor que 500 Km.

En todos los casos el Viento Zonda se ubicaba en la masa de aire caliente respecto del frente.

La distancia media fue de 420 Km y su dirección de 225 grados, hallándose el frente a la hora del inicio sobre el Océano Pacífico y cruzando la costa chilena entre Puerto Montt y Concepción.

Aparentemente el pasaje frontal tiene intensa relación con el mecanismo del Zonda que se produce antes del pasaje del frente sobre Mendoza.

#### 4.3 LA ESTRUCTURA VERTICAL DE LA ATMOSFERA

Se trabajó con la información de radiosondeos diarios de Quintero y El Plumerillo del período 1974/83 limitando la muestra a los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, período idéntico al tratado para los campos de presión.

Se calcularon :

- i) Los radiosondeos medios de ambas localidades correspondientes a los grupos de días con Zonda, con Zonda en altura y los del grupo total (incluye Zonda, Zonda en altura y días restantes). En particular para El Plumerillo se analizaron las condiciones para días con ausencia de Zonda en altura y en superficie definiéndose a este grupo como de 'día sin Zonda'.
- ii) Las anomalías entre grupos y entre localidades para cada grupo, de distintos parámetros termodinámicos.
- iii) Las curvas de variación vertical de valores del test 't' de Student para validar la significancia de los parámetros según los niveles y según los grupos.
- iv) Los perfiles verticales medios de la componente zonal y meridional del viento.

#### 4.3.1 Análisis de radiosondeos

##### 4.3.1.1 A barlovento de Los Andes -

Para Quintero la muestra utilizada tiene menor tamaño que la de El Plumerillo correspondiendo 906 casos de los cuales 64 pertenecen al grupo de días con Zonda en el llano cuyano y 438 al de días con Zonda en altura.

En particular la información de punto de rocío no es óptima en los niveles superiores. Esto ocurre cuando el aparato supera un umbral mínimo de humedad relativa, a partir del cual el observador es instruido de darle a la depresión de punto de rocío el valor de 30 o centígrados.

El significado de algunas de las siglas figura en la lista de abreviaturas.

TABLA 4.1 Sondeo medio en Quintero del total de días de invierno del periodo 1974/83

PRESION	ALTURA	TEMP.	D.S.T.	Td	D.S.Td	DEP.Td	D.DEP.Td	T.POT	T.P.EQ.	HR	u	v
1017.3	8.0	9.2	3.67	7.4	3.80	1.76	1.98	280.9	298.2	88	-0.08	-0.50
1000.0	150.3	11.2	2.34	8.2	3.69	2.87	3.57	284.2	303.0	82	-0.51	-0.07
900.0	1026.9	10.8	4.80	-4.8	9.01	15.70	11.80	292.6	301.3	32	-----	-----
850.0	1501.4	9.9	5.20	-9.9	9.87	19.80	12.21	296.5	303.0	23	1.37	-1.52
800.0	2001.5	7.4	5.00	-13.9	8.79	21.40	10.86	298.9	304.0	20	-----	-----
700.0	3085.5	0.9	4.60	-21.6	9.53	22.60	10.48	303.4	306.6	16	5.77	-5.02
600.0	4304.4	-7.0	4.30	-28.6	9.65	21.50	10.13	307.8	309.9	16	-----	-----
500.0	5698.8	-16.6	4.20	-36.6	11.67	19.94	11.64	312.5	313.7	15	14.77	0.77
400.0	7334.8	-28.5	3.80	-47.0	12.05	18.48	11.83	317.6	318.2	14	19.09	3.37
300.0	9329.4	-43.8	3.38	-----	-----	-----	-----	323.3	323.4	--	22.92	7.01
250.0	10530.8	-52.0	3.47	-----	-----	-----	-----	328.4	328.5	--	24.44	8.90
200.0	11955.4	-57.8	4.90	-----	-----	-----	-----	340.8	340.9	--	25.71	9.87

TABLA 4.2 Sondeo medio de Quintero de los días con Zonda en el llano de Cuyo (meses de mayo, junio, julio y agosto del periodo 1974/83).

PRESION	ALTURA	TEMP.	D.S.T.	Td	D.S.Td	DEP.Td	D.DEP.Td	T.POT	T.P.EQ.	HR	u	v
1015.6	8.0	11.8	2.30	10.0	2.60	1.60	1.83	283.4	304.0	89	-0.27	-2.54
1000.0	137.1	11.8	2.00	9.5	3.20	2.30	2.50	284.8	305.0	85	0.28	-4.07
900.0	1012.8	10.0	3.90	-1.6	9.40	11.70	12.25	291.3	302.0	44	-----	-----
850.0	1485.0	8.8	4.50	-7.0	11.27	15.80	13.70	294.9	303.4	35	5.10	-7.01
800.0	1982.5	6.5	4.80	-10.4	9.80	17.00	12.29	297.3	304.3	31	-----	-----
700.0	3060.3	0.0	4.60	-17.4	11.90	17.48	12.78	301.5	306.4	29	11.93	-6.88
600.0	4272.8	-7.6	4.00	-22.8	11.29	15.08	11.65	306.6	310.4	34	-----	-----
500.0	5662.9	-16.7	4.50	-33.0	12.30	14.24	12.50	311.9	313.8	28	24.47	-0.85
400.0	7295.6	-29.1	3.70	-43.4	11.76	14.84	11.52	317.0	317.9	29	28.35	3.48
300.0	9284.3	-44.0	17.50	-----	-----	-----	-----	322.0	322.1	--	30.19	10.99
250.0	10482.5	-51.7	3.50	-----	-----	-----	-----	327.9	328.0	--	30.67	11.16
200.0	11907.7	-57.4	4.70	-----	-----	-----	-----	341.6	341.7	--	33.07	12.04

Nota: La limitación impuesta por el valor del punto de rocío hizo que el cálculo de algunos parámetros termodinámicos derivados no fueran suficientemente confiables.

TABLA 4.3 Anomalías de algunos parámetros en Quintero (diferencia entre el grupo de días con Zonda menos el grupo total de días).

PRESION	$\Delta h(\text{msp})$	$\Delta T^{\circ}$	$\Delta T$	$\Delta U$	$\Delta V$	$\Delta HR$	$\Delta \theta_e$
Superf	-13.6	2.4	2.6	-0.19	-2.04	1%	5.8
1000.0	-12.9	0.6	1.3	+0.79	-4.00	3%	2.0
900.0	-14.1	-1.2	3.2	----	----	12%	0.7
850.0	-16.4	-1.5	2.9	+3.73	-5.49	12%	0.4
800.0	-19.0	-1.5	3.5	----	----	11%	0.3
700.0	-25.2	-1.7	4.2	+6.16	-1.86	13%	-0.2
600.0	-31.6	-1.1	5.8	----	----	18%	2.6
500.0	-35.9	-0.5	3.6	+9.70	-1.62	13%	0.1
400.0	-39.2	-0.5	3.6	+9.26	+0.11	15%	-0.3
300.0	-45.1	-0.9	---	+7.27	+3.98	---	-1.3
250.0	-48.3	-0.3	---	+6.23	+2.26	---	-0.4
200.0	-47.7	0.5	---	+7.36	+2.17	---	0.8
150.0	-39.2	1.5	---	+3.06	+3.31	---	2.5
100.0	-29.2	0.2	---	+2.14	-0.09	---	0.4

En la tabla de anomalías se observa que:

- i) Las anomalías de altura ( $\Delta h$ ) en general son negativas, indicando condiciones ciclónicas o de vaguada.
- ii) Hay una anomalía de temperatura positiva en la capa límite probablemente provocada por la anulación de las condiciones de radiación debido al viento, a nubes o por ambos. Las anomalías de temperatura en la tropósfera corroboran las condiciones ciclónicas o de vaguada y las anomalías positivas en la estratósfera un descenso de la tropopausa y un calentamiento estratosférico.
- iii) Los valores positivos de la anomalía de punto de rocío en todos los niveles indicarían ascenso orográfico o ascenso delante del eje de vaguada (el eje se halla al oeste de Quintero).
- iv) La componente zonal del viento es mayor en toda la atmósfera presentando un máximo a la altura de la cresta de la cordillera (figura 4.12). Entre 2500 m.s.n.m. y 7500 m.s.n.m. la cortante zonal positiva es mayor que su valor climatológico, existiendo mayor baroclinicidad que indica la cercanía del frente.
- v) La componente meridional es mas del norte que en el caso normal al menos hasta los 8000 metros (ver figura 4.12).
- vi) Mientras que en el promedio general a la altura de la cresta de la cordillera el viento es de los 270 o a 14 m/s, en los días de Zonda es de los 273 o a 23 m/s.

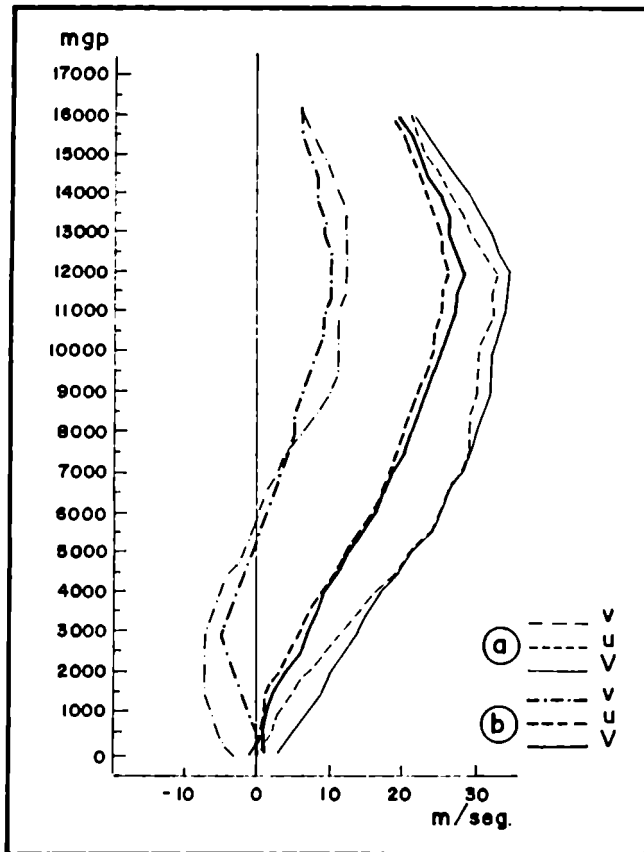


Fig. 4.12: Distribución vertical media del viento para días con Zonda y para el grupo total de días, en Quintero, inviernos del periodo 1974/83 a las 12 UTC.

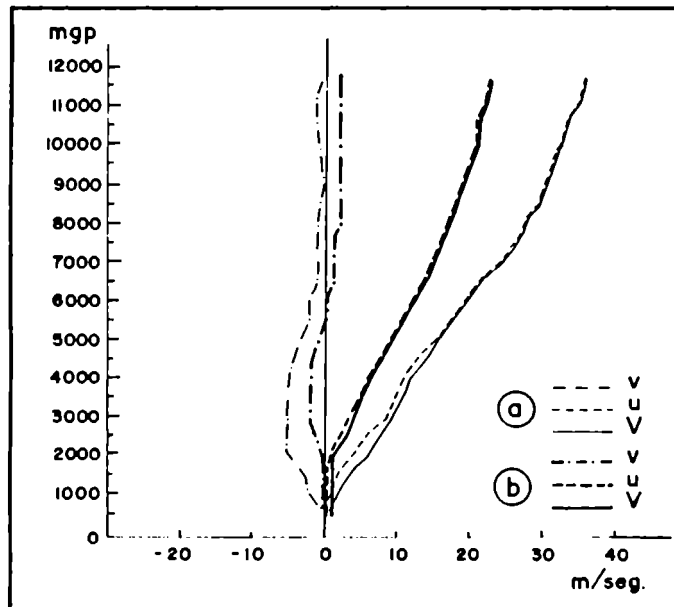


Fig. 4.13: Distribución vertical media del viento para días con Zonda y para el grupo total de días en El Plumerillo, inviernos del periodo 1974/83 a las 12 UTC.

a Zonda  
b Total

TABLA 4.4 Sondeo medio de Quintero de los días con Zonda en altura (periodo 1974/83 meses de mayo, junio, julio y agosto).

PRESION	ALTURA	TEMP.	D.S.T.	Td	D.S.Td	DEP.Td	D.DEP.Td	T.POT	T.P.EQ.	HR	u	v
1017.3	8.0	9.2	3.61	7.4	3.70	1.80	2.10	280.9	298.2	88	-0.07	-0.51
1000.0	150.3	11.1	2.19	8.2	3.82	3.00	3.90	284.2	302.9	81	-0.51	0.04
900.0	1028.4	11.8	4.75	-6.2	8.79	18.10	11.59	293.6	301.6	27	-----	-----
850.0	1504.7	11.1	5.11	-10.9	9.30	22.00	11.26	297.7	303.8	20	1.10	-1.06
800.0	2007.0	8.6	4.79	-14.9	8.07	23.57	9.72	300.2	304.9	17	-----	-----
700.0	3095.6	2.0	4.15	-22.6	8.51	24.60	9.24	304.6	307.6	14	5.77	-5.02
600.0	4319.2	-6.1	3.74	-29.2	9.20	23.10	9.59	309.0	311.0	13	-----	-----
500.0	5718.9	-15.7	3.91	-36.0	11.71	20.20	11.80	313.7	315.0	15	14.77	0.77
400.0	7361.1	-27.7	3.36	-46.5	12.31	18.80	12.17	318.8	319.4	13	19.14	3.03
300.0	9362.0	-43.4	3.17	-----	-----	-----	-----	324.1	324.3	--	23.41	7.16
250.0	10565.0	-52.1	3.41	-----	-----	-----	-----	328.4	328.5	--	25.40	9.24
200.0	11987.0	-58.7	4.48	-----	-----	-----	-----	339.6	339.6	--	26.01	10.51

En la tabla 4.5 se indican las anomalías de días con Zonda en altura respecto de los valores medios totales.

Si bien el radiosondeo hidrotérmico se asemeja al medio total la diferencia respecto a este grupo solo se manifiesta en los valores de altura geopotenciales en particular por encima de los 700 hPa, es decir por encima de la inversión de subsidencia debida al anticiclón semipermanente del Océano Pacífico. Las anomalías positivas crecientes hasta 250 hPa indicarían que este grupo de días se asocia a una situación de cuña en altura que esta desfasada respecto a superficie. El campo medio se asemejaría al modelo teórico de una 'alta caliente'.

TABLA 4.5 Anomalías de parámetros de Quintero (diferencia entre el grupo de días con Zonda en altura menos el grupo total de días).

PRESION	$\Delta h(mgP)$	$\Delta T^{\circ}C$	$\Delta T$	$\Delta U$	$\Delta V$	$\Delta HR$	$\Delta \theta_e$
Superf	0.0	0.0	0.0	0.01	-0.01	0	0.0
1000.0	0.0	0.0	-0.1	0.00	0.11	-1%	-0.1
900.0	1.5	1.0	-1.3	----	----	-5%	0.3
850.0	3.3	-1.2	-1.0	-0.27	+0.46	-3%	0.8
800.0	5.5	1.2	-1.0	----	----	-3%	0.9
700.0	10.1	1.1	-0.9	0.00	0.00	-2%	1.0
600.0	14.8	1.0	-0.7	----	----	-3%	1.1
500.0	20.1	1.0	0.6	0.00	0.00	0%	1.3
400.0	26.3	0.9	0.3	+0.05	-0.34	-1%	1.2
300.0	32.6	0.6	0.5	-1.03	+0.15	-	0.9
250.0	34.2	0.0	0.0	+0.96	-0.63	-	0.0
200.0	31.6	-0.8	-0.7	+0.30	-0.64	-	-1.3
150.0	23.6	-1.1	-0.9	-0.32	+0.83	-	-1.9
100.0	12.3	-0.8	-0.7	-0.10	+0.30	-	-1.5

4.3.1.2 A sotavento de Los Andes -

TABLA 4.6 Sondeo medio de El Plumerillo del total de días de mayo, junio, julio y agosto del periodo 1974/83).

PRESION	ALTURA	TEMP.	D.S.T.	Td	D.S.Td	DEP.Td	D.DEF.Td	T.POT	T.P.EQ.	HR	u	v
934.5	703.0	4.8	4.50	0.5	4.40	4.20	3.40	283.2	295.1	74	0.10	0.50
900.0	1011.0	8.4	4.50	1.3	5.30	7.10	5.10	290.0	303.4	61	0.41	0.93
850.0	1481.0	7.1	5.10	-0.6	5.80	7.80	6.40	293.4	305.9	58	0.37	0.35
800.0	1977.4	6.0	6.00	-3.6	6.00	9.60	7.80	297.4	308.3	50	-----	-----
700.0	3061.6	2.4	5.40	-11.6	6.20	14.00	7.80	305.1	312.2	34	3.57	-1.98
600.0	4287.7	-5.3	4.40	-20.1	6.00	14.80	6.40	309.8	314.1	30	6.93	-1.73
500.0	5689.8	-15.5	4.40	-29.3	5.90	13.80	6.00	314.0	316.3	29	11.73	-0.20
400.0	7332.7	-27.6	4.10	-40.4	5.70	12.80	5.40	318.8	319.8	28	15.75	1.38
300.0	9338.2	-42.1	5.10	-53.9	6.80	11.80	4.70	325.7	326.0	24	19.78	2.08
250.0	10548.4	-50.4	3.40	-68.2	2.80	17.70	0.60	330.8	330.9	8	21.30	2.24
200.0	11982.5	-56.5	6.90	-73.0	7.10	16.50	1.20	342.9	343.0	8	23.37	2.04

TABLA 4.7 Sondeo medio de El Plumerillo de los días con Zonda en el llano (meses de mayo, junio, julio y agosto del periodo 1974/83).

PRESION	ALTURA	TEMP.	D.S.T.	Td	D.S.Td	DEP.Td	D.DEF.Td	T.POT	T.P.EQ.	HR	u	v
925.4	703.0	6.9	5.40	0.8	4.10	6.10	6.40	286.2	298.7	66	0.46	0.22
900.0	933.0	11.4	4.80	1.4	5.80	10.00	8.00	293.1	306.7	50	1.34	-1.54
850.0	1410.0	12.2	4.90	-1.4	7.00	13.70	9.00	299.1	311.1	37	1.80	-2.48
800.0	1916.4	11.6	4.50	-5.0	7.10	16.60	9.00	303.7	313.5	29	3.85	-4.76
700.0	3016.9	4.9	3.70	-12.4	7.00	17.40	7.10	307.7	314.1	25	8.74	-5.25
600.0	4251.2	-4.0	3.70	-19.8	6.60	15.70	6.20	311.2	315.4	27	11.98	-4.36
500.0	5658.6	-14.5	3.80	-28.2	6.80	13.70	6.40	314.9	317.4	29	18.77	-1.97
400.0	7305.4	-27.1	3.60	-39.2	6.10	12.00	5.80	319.3	320.5	29	25.99	-0.91
300.0	9312.2	-41.0	8.30	-52.2	10.20	11.10	5.00	325.5	325.7	8	32.13	0.00
250.0	10522.4	-50.1	3.70	-67.9	3.04	17.80	0.69	330.9	331.0	8	33.64	-1.17
200.0	11957.1	-54.5	11.50	-71.0	12.80	16.50	1.90	343.1	343.1	7	36.71	0.64

TABLA 4.8 Anomalías de algunos parámetros en El Plumerillo (diferencia entre el grupo de días con Zonda menos el grupo total de días).

NIVEL	$\Delta h$	$\Delta T$	$\Delta Td$	$\Delta Dep.Td$	$\Delta \theta$	$\Delta \theta_e$	$\Delta HR$	$\Delta u$	$\Delta v$
Superf	-72.8	2.1	0.3	1.9	2.9	3.3	-9	0.36	-0.28
900.0	-70.9	3.0	0.1	2.9	3.1	3.3	-11	0.93	-2.47
850.0	-64.1	5.1	-0.8	5.9	5.4	4.9	-19	1.43	-2.83
800.0	-54.6	5.6	-1.4	7.0	6.0	5.2	-19	-----	-----
700.0	-38.7	2.5	-0.2	3.4	2.7	2.4	8	5.17	-3.52
600.0	-30.1	1.3	0.3	0.9	1.5	1.6	-2	5.05	-2.63
500.0	-24.0	1.0	1.0	-0.1	1.2	1.5	1	7.04	-1.77
400.0	-19.1	0.5	1.2	-0.8	0.7	0.8	2	10.24	-2.29
300.0	-12.4	1.1	1.7	-0.7	1.6	1.6	2	12.35	-2.08
250.0	-8.7	0.3	0.3	0.1	0.5	0.5	0	12.34	-3.41
200.0	-1.1	2.0	2.0	0.0	3.1	3.2	0	13.34	-2.00

En la tabla de anomalías se observa que :

- i) Las correspondientes a la altura son negativas hasta 200 hPa disminuyendo aproximadamente en forma constante hacia la tropósfera superior e indicando el acercamiento de una vaguada (ya

que la tendencia despues del pasaje de un anticiclón es primero negativa en superficie y luego se extiende a capas mas elevadas).

ii) Las anomalías de temperatura son positivas en toda la atmósfera con un máximo alrededor de los 800 hPa por efecto del descenso del aire que afectó a estos niveles. De 800 a 600 hPa hay un aumento notable de gradiente vertical por efecto del Zonda.

iii) Las anomalías de parámetros relativos a la humedad indican que los valores de  $\Delta T_d$  son levemente positivos en capas muy bajas, un máximo negativo en 800 hPa volviéndose otra vez positiva aproximadamente en 650 hPa. Son mas elocuentes las anomalías de la depresión del punto de rocío y de la humedad relativa, indicando que la tropósfera baja es mas seca que lo normal. En conjunto con las anomalías de temperatura y de temperatura potencial equivalente se puede notar que el Viento Zonda ocurre normalmente con una masa de aire mas cálida que lo normal, y que su efecto sobre la humedad es máximo en 800 hPa.

iv) Las anomalías del viento indican que salvo en las capas mas bajas (donde a la hora del sondeo todavia no ha llesado el Zonda) la componente zonal es mayor que su valor climatológico con un fuerte aumento de la cortante vertical entre 1500 y 3000 metros y otro leve aumento en la tropósfera superior (figura 4.13). Respecto a la componente meridional, mientras que su valor climatológico es practicamente nulo, hay una componente norte en los casos de Zonda especialmente entre 1500 y 5500 metros de altura (figura 4.13), a partir de donde disminuye nuevamente. A los 5500 metros el viento climatológico medio es de los 271 o a 11 m/s, mientras que el viento medio asociado al Zonda a esa altura es de 282 o a 17 m/s, confirmando que el viento aumenta cuando hay Zonda a la altura de la cresta de la cordillera.

v) De acuerdo a las anomalías de temperatura potencial equivalente, la mayor caída de aire del Zonda entre barlovento y sotavento corresponde en El Plumerillo a 800 hPa, donde el descenso alcanzó unos 140 hPa, aproximadamente 1600 metros mas bajo que a barlovento.

Si bien el máximo calentamiento producido por el Viento Zonda se registra en superficie (Capítulo 2), el sondeo no lo muestra así. La causa de esta diferencia estaria en la hora del lanzamiento del globo sonda (9 HOA). Los días de Viento Zonda en el llano detectados con los datos de libretas meteorológicas incluyen en el grupo casos donde el fenómeno no ha alcanzado la superficie a esa hora. Más aún el método de identificación de eventos mediante análisis de secuencias sinópticas horarias (Capítulo 2) muestra una mayor frecuencia de ocurrencia en horas vespertinas.

Por otra parte, la curva del punto de rocío no indica diferencias sustanciales con la del sondeo medio total de la serie. Esto podría resultar una contradicción en una primera lectura respecto de las conclusiones referentes al método indirecto del Zonda "hídrico" que da como relevantes la variación de humedad frente a las de temperatura para identificar días con Zonda en una estación de montaña.

Sin embargo existen antecedentes relativos a la comparación de temperatura y humedad en una pendiente montañosa respecto a la atmósfera libre cercana (Barry, R.G., 1981; Mc Cutchan, M.H., 1983).

Samson, C.A. en 1965 obtiene en la ladera montañosa valores de hasta 4.8 oC mas bajo que en la atmósfera libre en horas de la madrugada y hasta 5.1 oC mas cálidas en las primeras de la tarde adjudicando estas variaciones a efectos radiativos condicionados por la topografía del lugar y la cobertura nubosa.

Respecto a la humedad especifica, este autor obtiene valores inferiores en montaña en la madrugada y superiores a los de radiosondeos en el resto de la jornada, debido a la presencia o no de advección de aire húmedo pendiente arriba durante el día y pendiente abajo en la noche, amén de las distintas situaciones sinópticas oriundas durante su estudio (no analiza casos de chinook o föhn en particular).

El problema de la diferencia hidrotérmica y sus posibles correlaciones entre Vallecitos y la columna de aire sobre El Plumerillo no ha sido aun estudiada y es uno de los puntos a investigar que surge de este trabajo de tesis.

Las tablas que se enumeran a continuación corresponden a los días con Zonda en altura.

TABLA 4.9 Sondeo medio de El Plumerillo de los días con Zonda en altura (meses de mayo, junio, julio y agosto, periodo 1974/83).

PRESION	ALTURA	TEMP.	D.S.T.	Td	D.S.Td	DEP.Td	D.DEP.Td	T.POT	T.P.EQ.	HR	u	v
933.6	703.0	3.9	4.20	0.2	4.20	3.70	2.50	282.6	294.2	76	0.22	0.46
900.0	1003.0	8.7	4.10	1.5	5.10	7.20	4.50	290.4	304.0	60	0.34	0.38
850.0	1474.2	8.0	4.60	-0.3	5.60	8.40	6.00	294.5	307.3	55	0.38	-0.34
800.0	1973.1	7.8	5.60	-3.6	6.10	11.40	7.80	299.4	310.4	44	1.02	-1.77
700.0	3064.8	4.3	4.30	-12.2	6.40	16.60	6.90	307.2	314.0	29	3.98	-2.29
600.0	4298.1	-4.0	3.90	-20.3	6.10	16.20	6.20	311.3	315.6	27	7.51	-1.46
500.0	5706.9	-14.3	3.90	-29.3	5.90	14.90	5.80	315.4	317.8	27	11.72	0.41
400.0	7357.2	-26.6	3.70	-40.3	5.40	13.70	5.30	320.2	321.3	25	15.11	2.39
300.0	9369.1	-41.9	3.30	-54.3	5.10	12.40	4.80	326.2	326.4	9	20.09	3.54
250.0	10580.6	-50.3	3.22	-68.1	2.64	17.70	0.58	330.9	331.0	8	23.10	4.07
200.0	12011.8	-57.8	4.30	-74.3	3.60	16.40	0.84	341.3	341.4	7	25.61	4.52

TABLA 4.10 Anomalias de parametros de El Plumerillo (diferencia entre el grupo de días con Zonda en altura menos el grupo total de días).

NIVEL	$\Delta h$	$\Delta T$	$\Delta Td$	$\Delta Dep.Td$	$\Delta \theta$	$\Delta \theta_e$	$\Delta HR$	$\Delta u$	$\Delta v$
Superf	-0.9	-0.9	-0.3	-0.5	-0.8	-1.2	3	0.12	-0.04
900.0	-8.2	0.3	0.2	0.1	0.3	0.5	-1	-0.07	-0.55
850.0	-7.2	0.9	0.3	0.6	1.0	1.2	-2	0.01	-0.69
800.0	-4.8	1.8	0.0	1.8	1.9	2.0	-6	---	---
700.0	2.5	1.9	-0.6	2.6	2.1	1.8	-6	-2.51	-0.31
600.0	9.7	1.3	-0.2	1.4	1.5	1.5	-3	0.58	0.27
500.0	16.4	1.2	0.0	1.1	1.4	1.5	-3	-0.01	0.61
400.0	23.5	1.0	0.1	0.9	1.3	1.3	-3	-0.64	0.91
300.0	28.6	0.2	-0.4	0.6	0.3	0.2	-2	0.31	1.46
250.0	29.4	0.1	-0.1	0.0	0.2	0.2	0	1.80	1.83
200.0	25.5	-1.3	-1.3	0.1	-2.1	-2.0	0	2.24	2.48

Las anomalias negativas de altura hasta 800 hPa y positivas en el resto de la tropósfera indican que estos días se asocian a condiciones de bajas térmicas o cálidas.



La temperatura es ligeramente superior en casi toda la columna vertical. El valor levemente negativo de superficie implicaría que el aire es suficientemente denso como para evitar que el Zonda alcance el llano en estas ocasiones. La inversión térmica en las capas más cercanas a la superficie presenta gradientes más intenso que en los casos de Zonda y el sondeo medio general.

Las anomalías de parámetros relacionados con la humedad indican un mayor secamiento alrededor de los 700 hPa, nivel en donde también se observan las mayores diferencias en los valores de la componente zonal y meridional del viento, que obedecerían a la presencia del Zonda en ese nivel.

En particular para El Plumerillo se calcula el radiosondeo medio de los días de la serie que no presentan ni Zonda en el llano ni en altura, definidos como días 'no-Zonda' (tabla 4.11).

TABLA 4.11 Sondeo medio de El Plumerillo de los días sin Zonda (meses de mayo, junio, julio y agosto del periodo 1974/83).

PRESION	ALTURA	TEMP.	D.S.T.	Td	D.S.Td	DEP.Td	D.DEP.Td	T.POT	T.P.EQ.	HR	u	v
936.9	703.0	5.3	4.50	0.8	4.60	4.50	3.30	283.6	295.7	72	0.07	1.02
900.0	1031.9	7.5	4.40	1.1	5.40	6.40	4.70	289.1	302.2	64	0.42	2.00
850.0	1499.6	5.2	4.80	-0.8	5.80	6.10	5.50	291.5	303.7	64	0.21	1.52
800.0	1991.8	3.0	5.20	-3.3	5.70	6.40	6.10	294.3	305.2	62	0.35	0.96
700.0	3065.2	0.0	5.70	-10.7	5.70	10.60	7.60	302.2	309.7	45	2.25	-1.20
600.0	4281.8	-6.8	4.60	-20.0	5.80	13.10	6.40	308.0	312.2	34	5.85	-1.79
500.0	5675.7	-17.0	4.50	-29.6	5.80	12.50	5.80	312.1	314.4	32	10.67	-0.93
400.0	7309.7	-28.8	4.30	-40.8	5.80	12.00	5.30	317.2	318.2	30	15.29	0.53
300.0	9308.1	-42.7	5.60	-53.9	7.24	11.20	4.60	325.0	325.1	8	20.88	1.09
250.0	10516.6	-50.6	3.60	-68.3	8.70	17.70	----	330.6	330.7	8	22.94	0.80
200.0	11953.7	-55.5	7.30	-72.2	7.60	16.60	----	344.5	344.6	8	26.52	0.46

En este caso, el sondeo medio que muestra condiciones de aire más frío y más húmedo en casi toda la columna vertical estaría asociado a situaciones de aire polar, algunas de estas condiciones conocidas localmente como 'sudestada' (Norte, F.A., 1984).

En la figura 4.14, se grafica la variación vertical de los valores del test estadístico 't' de Student (significativo al 5 % si  $t > 1,965$ ) del grupo de días Zonda frente al grupo total de días. Que las diferencias más significativas en temperatura y más significativas en depresión del punto de rocío se encuentren a 800 hPa y no en superficie respondería a las mismas causas mencionadas anteriormente respecto de la hora de obtención del radiosondeo y de aparición del Zonda en el llano. Las diferencias pierden significancia algo más abajo que la altura media de la cresta de la cordillera. En cuanto al punto de rocío sólo alcanza alguna significancia en 800 hPa.

En cambio, en la Fig. 4.15 (grupo Zonda de altura versus grupo total) las diferencias significativas que se extienden desde 850 hPa para la temperatura y desde 800 hPa para la depresión de punto de rocío hacia todas las capas superiores, se asociaría a situaciones de cuña o al menos de flujo zonal y a las etapas iniciales mencionadas en el Capítulo 3 (en estos casos está mezclada la influencia de la subsidencia forzada con la libre, no siendo clara la distinción de ambas; los Zondas estarían asociados al nivel de máxima significancia).

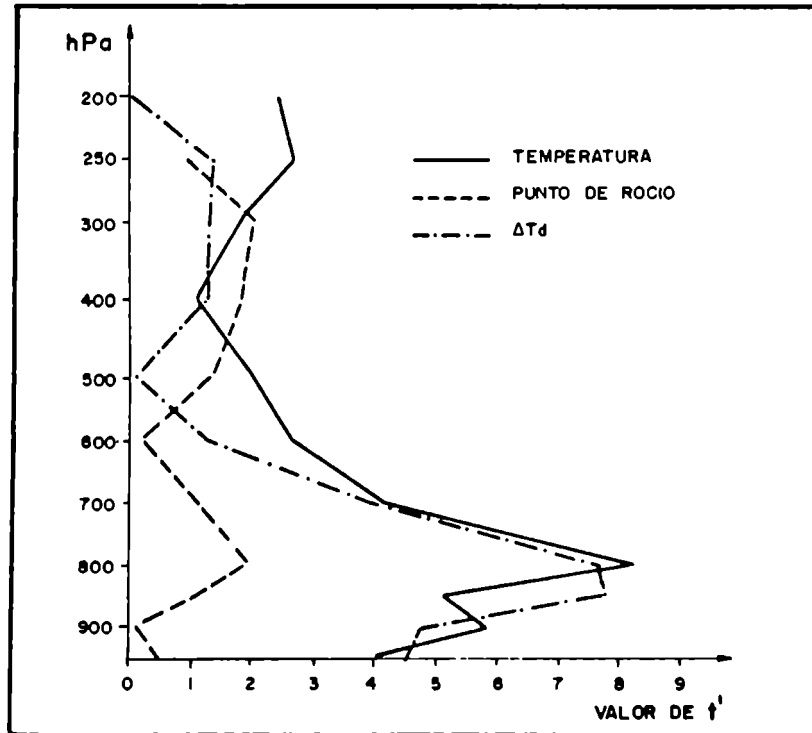


Fig. 4.14: Variación vertical de valores del test "t" de Student (de temperatura, punto de rocío y depresión del punto de rocío) del grupo de días con Zonda respecto al grupo del total de días.

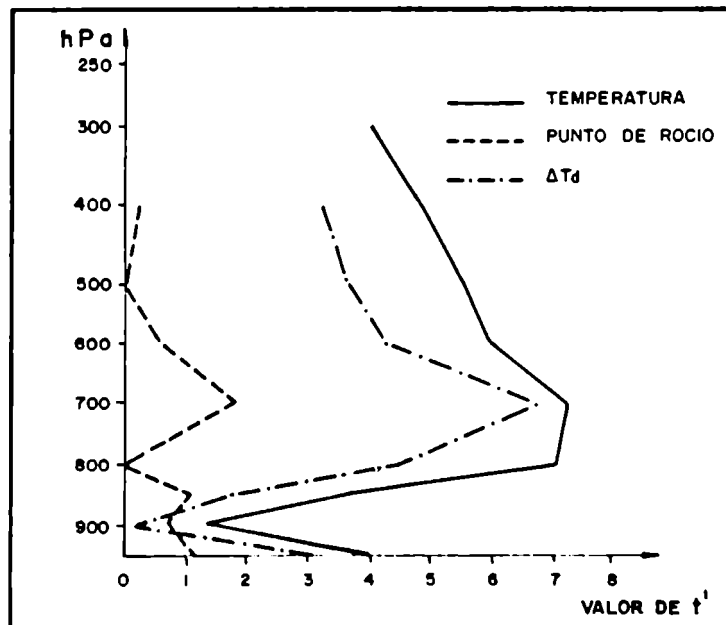


Fig. 4.15: Variación vertical de valores del test "t" de Student (de temperatura, punto de rocío y depresión del punto de rocío) del grupo de días con Zonda en altura respecto del grupo del total de días.

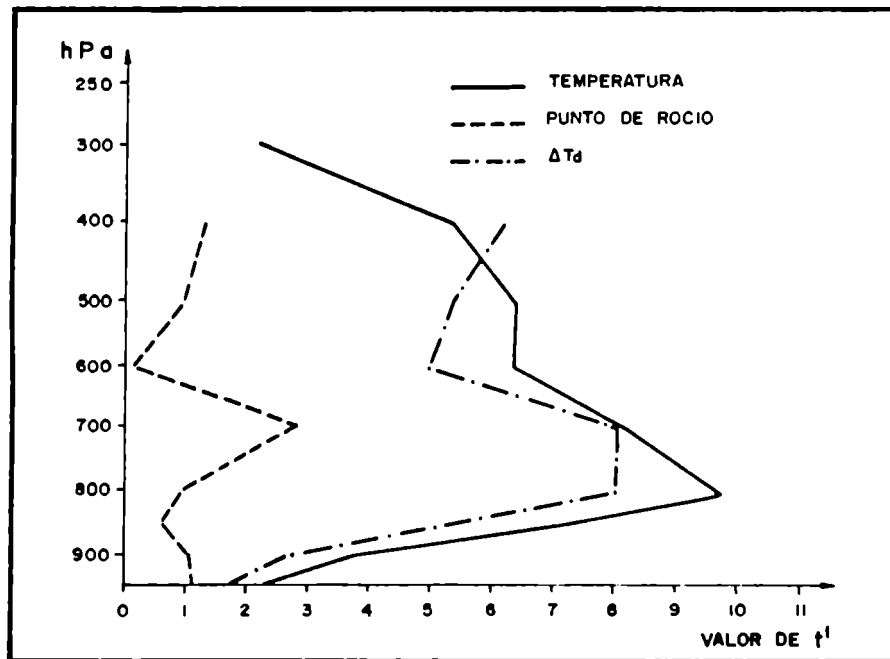


Fig. 4.16: Variación vertical de valores del test 't' de Student (de temperatura, punto de rocío y depresión del punto de rocío) del grupo de días sin Zonda respecto del grupo total de días.

Que los valores no sean estadísticamente significativos en las capas bajas próximas al suelo (900 hPa) estaría indicando que la inversión de subsidencia es casi permanente en Mendoza al menos dentro de los períodos invernales.

La figura 4.16 (grupo sin Zonda versus grupo total) que muestra diferencias significativas en toda la columna de aire salvo en superficie permite inferir que las condiciones de días sin Zonda en cualquier nivel, no son predominantes en la región durante los meses analizados.

Los valores máximos entre 800 y 700 hPa se deberían a que en estas circunstancias el aire más frío y más húmedo domina esas capas en contraste con el calentamiento y secamiento por encima de la inversión que se registra en las otras oportunidades.

#### 4.3.2 Comparación de resultados obtenidos a ambos lados de la cordillera

La tabla 4.12 indica las diferencias de valores medios de temperaturas para el grupo de días de Zonda en el llano.

TABLA 4.12 Anomalías de parámetros entre El Plumerillo y Quintero (diferencia de valores de Quintero menos los de El Plumerillo para el grupo de días con Zonda).

NIVEL	$\Delta h$	$\Delta T$	$\Delta T_d$	$\Delta \text{Dep. } T_d$	$\Delta \theta$	$\Delta \theta_e$	$\Delta \text{HR}$	$\Delta u$	$\Delta v$
Superf	----	4,9	9,2	-4,5	-2,8	5,3	23	-0,73	-2,76
900.0	79,8	-1,4	-3,0	1,7	-1,8	-4,7	-6	----	----
850.0	75,0	-3,4	-5,6	2,1	-4,2	-7,7	-2	3,30	-4,53
800.0	66,1	-5,1	-5,4	0,4	-6,4	-9,2	2	----	----
700.0	43,4	-4,9	-5,0	0,0	-6,2	-7,7	4	3,19	-1,63
600.0	21,6	-3,6	-3,0	-0,7	-4,6	-5,0	7	----	----
500.0	4,3	-2,2	-4,8	2,5	-3,0	-3,6	-1	5,70	1,12
400.0	-9,8	-1,4	-3,6	2,8	-2,3	-2,6	0	2,36	4,39
300.0	-27,9	-3,0	---	---	-3,5	-3,6	-	-1,94	10,99
250.0	-39,9	-1,7	---	---	-3,0	-3,0	-	-2,97	12,33
200.0	-49,4	-2,9	---	---	-1,5	-1,3	-	-3,64	11,40

Si bien en Quintero los valores de altura en capas bajas son inferiores a la media (4.3.1.1) éstos se mantienen más altos que sus correspondientes en El Plumerillo, debido a que en la tropósfera baja existe una cufia anticiclónica la cual desaparece a la altura de la cresta de la cordillera. Esta situación podría ser parcialmente representada por la figura 4.2 del análisis de los campos de presión en superficie.

Los valores negativos desde 400 hPa hacia arriba indicarían que la vaguada aún no termina de pasar por El Plumerillo.

Respecto a la estructura térmica, el aire a barlovento es más frío en todos los niveles, respecto a sotavento.

Los mayores diferencias, observadas entre 800 y 700 hPa se relacionan con el calentamiento adiabático del aire descendente de sotavento.

Que en superficie ocurra una situación inversa a la del resto implica que en la costa de Chile el cielo en general está cubierto debido a la proximidad de la perturbación, mientras que en El Plumerillo en muchos de los días de Zonda seleccionados, el fenómeno aún no alcanza el llano y la temperatura es baja por pérdida de radiación terrestre nocturna con cielos

Poco nublados.

La tabla 4.13 muestra las diferencias entre Quintero y El Plumerillo para los valores medios de datos de sondeo de toda la serie considerada, dando una idea de las características climatológicas a ambos lados de Los Andes durante los meses invernales (Mayo, Junio, Julio y Agosto) del periodo seleccionado.

TABLA 4.13 Anomalías de parámetros entre El Plumerillo y Quintero  
(diferencia de valores de Quintero menos los de El Plumerillo  
para el grupo total de días).

NIVEL	$\Delta h$	$\Delta T$	$\Delta T_d$	$\Delta \text{Dep.}T_d$	$\Delta \theta$	$\Delta \theta_e$	$\Delta \text{HR}$	$\Delta u$	$\Delta v$
Superf	----	4.4	6.9	-2.4	-2.3	3.2	14	-0.18	-1.00
900.0	15.9	2.4	-6.1	8.6	2.6	-2.2	-29	----	----
850.0	20.4	2.8	-9.3	12.0	3.1	-2.9	-35	1.00	-1.87
800.0	24.1	1.4	-10.3	11.8	1.5	-4.3	-30	----	----
700.0	23.9	-1.5	-10.0	8.6	-2.1	-5.6	-18	2.20	-3.14
600.0	16.7	-1.7	-8.5	6.7	-2.0	-4.2	-14	----	----
500.0	9.0	-1.1	-7.3	6.1	-1.5	-2.6	-14	3.04	0.97
400.0	2.1	-0.9	-6.6	5.6	-1.2	-1.6	-14	3.34	1.99
300.0	-8.8	-1.7	---	---	-2.4	-2.6	-16	3.14	4.93
250.0	-17.6	-1.6	---	---	-2.4	-2.4	0	3.14	6.66
200.0	-27.1	-1.3	---	---	-2.1	-2.1	-1	2.34	7.83

La troposfera baja del lado chileno está influida por la cercanía del mar, que en invierno determina valores térmicos superiores a los del continente que en el lado argentino se enfría más fácilmente.

La influencia del anticiclón subtropical del Océano Pacífico sería la causa de los valores de altura superiores a El Plumerillo hasta los 400 hPa.

#### 4.4 CONCLUSIONES

Los días de Viento Zonda evidencian con toda claridad una alteración significativa respecto del desarrollo climatológico de la situación sinóptica en superficie por :

- i) El cinturón de bajas polares, desplazado desde 55o Sur a 60o Sur hacia unos 45o Sur.
- ii) Un sistema de baja presión se halla en la isla Chiloé y al oeste de la provincia de Chubut.
- iii) Hay una notable intensificación de la vaguada climatológica al oeste del país, con un desplazamiento de la DNOA hacia el sur.
- iv) A la hora de iniciación del evento existe un frente frío hacia el sudoeste a unos 500 Km de distancia en promedio el cual pasa por la ciudad de Mendoza después de la terminación del Zonda y a menos de 24 horas.
- v) Las anomalías béricas mencionadas precedentemente decrecen rápidamente para los días anteriores, siendo ya poco probable poder hacer un pronóstico del evento con 48 horas de anticipación con esa información.

vi) Para el día previo al de Viento Zonda, el campo medio indica la existencia de un anticiclón migratorio sobre el sur de Santa Fe y el norte de la provincia de Buenos Aires.

vii) También para los casos de Zonda en altura el mapa medio si bien muestra poca diferencia con el climatológico el sentido de su perturbación coincide con los casos de Viento Zonda en superficie.

viii) Los casos de no-Zonda nuclean condiciones anticiclónicas en la región de Cuyo, en una configuración típica correspondiente a una invasión de aire frío sobre el centro del país. También en cuanto a la estructura vertical de la atmósfera y con respecto a los datos aerológicos.

La presencia del Viento Zonda tiene una profunda influencia sobre la estructura de la atmósfera :

i) A ambos lados de la cordillera

A) La componente zonal del viento es significativamente mayor a la altura de la cresta de la cordillera, asociada con una leve componente del norte.

B) Se observa en general en la tropósfera media una mayor cortante vertical del viento y por ende mayor baroclinicidad.

C) Las condiciones indicarían el acercamiento de un eje de vaguada o un sistema ciclónico.

ii) A barlovento de la cordillera (Quintero)

A) Anomalías negativas de la temperatura en la atmósfera libre asociadas a un aumento de la humedad son indicativas de movimientos de ascenso ya sea orográfico, sinóptico o ambos.

B) La inversión de las anomalías de temperatura cerca de 250 hPa indican condiciones ciclónicas o de vaguada por el descenso de la tropopausa y el calentamiento estratosférico.

iii) A sotavento de la cordillera (El Plumerillo)

A) La máxima incidencia del Zonda en cuanto a temperatura y depresión del punto de rocío ocurren en los niveles de 850 a 800 hPa con un apreciable calentamiento, pero con una relativamente poca disminución de la humedad.

B) El Viento Zonda se produce dentro de una masa de aire relativamente cálida siendo las anomalías térmicas positivas en toda la columna.

C) Se observa una notable componente del norte en las capas afectadas por el Zonda.

D) Tomando la temperatura potencial equivalente como un parámetro conservativo, en promedio las masas de aire que comparten el proceso del Viento Zonda tienen una máxima diferencia entre barlovento y sotavento en 800 hPa en El Plumerillo, donde el descenso en el lado chileno es de 1600



## CAPITULO 5

### METODOS DE PRONOSTICO

#### 5.1 INTRODUCCION

Los resultados obtenidos del diagnóstico del Viento Zonda desarrollado en los capítulos anteriores, permiten establecer reglas y métodos de pronóstico del fenómeno, algunos de ellos con un alto grado de verificación.

Para cumplir con este objetivo, se tuvieron en cuenta distintos procedimientos, desde los más sencillos como es la observación empírica hasta los de tipo computacional, que permiten anunciar el evento con pocos datos y en poco tiempo siendo esto de gran utilidad operativa.

#### 5.2 METODOS OBSERVACIONALES EMPIRICOS

Los diferentes estados evolutivos de las situaciones de Viento Zonda pueden ser identificados visualmente mediante la forma, densidad y ubicación que presentan ciertos tipos de nubes, pudiéndose inferir los posibles desarrollos futuros del fenómeno.

Con este fin se hicieron tomas fotográficas para distintos casos relacionados con Viento Zonda de altura y de superficie en zonas próximas a la ciudad de Mendoza.

Se tuvieron en cuenta los criterios de clasificación que figuran en el Atlas Internacional de Nubes de la Organización Meteorológica Mundial, edición 1969.



Figura 5.1: Fotografía tomada desde el CRICYT en dirección sudoeste, hacia el Cordón del Plata el día 30 de Abril de 1986 a las 17:40 HDA



Corresponde a una situación incipiente de Zonda en altura. Los altocúmulos tenues de forma lenticular (1,3) mostraron escaso desplazamiento manteniendo su ubicación sobre el Cordón del Plata (4,2) durante varias horas.

Estas formaciones nubosas suelen observarse entre 72 y 48 horas antes de la ocurrencia de Zonda en el llano.

En particular esta situación culminó con el pasaje de un frente frío de escasa actividad tres días más tarde, sin la aparición del viento en Mendoza.

Figura 5.2: Fotografía tomada desde el CRICYT en una dirección semejante a la foto anterior, el día 5 de Mayo de 1986 a las 16 HOA.



Nubosidad asociada a una situación de Zonda en altura mas definida y en niveles mas bajos que el caso anterior. Los altocúmulos y cirrocúmulos mas densos sobre el Cordón del Plata (1,2).

Este tipo de formación nubosa suele asociarse a la presencia de Viento Zonda en Vallecitos y Puesto Reynoso y con frecuencia se presenta 48 o 24 horas antes de su aparición en zonas del llano.

En particular, tampoco se presentó en esta oportunidad en Mendoza si bien dos días mas tarde hubo un pasaje frontal precedido de un temporal de nieve en la alta cordillera.

Los estados de irritabilidad, excitabilidad y afecciones respiratorias en la población así como los accidentes de tránsito se acentuaron notablemente en el período comprendido entre el 5 y el 8 de Mayo de 1986.

Figura 5.3: Fotografía tomada desde Godoy Cruz (8 Km al sur del CRICYT) en dirección Norte a las 19 HOA del día 16 de Junio de 1986 a la puesta del sol.



La nubosidad que incluye cirros, cirroestratos y altocúmulos lenticulares presenta estrías (1,2 y 1,3) asociadas a fuerte turbulencia.

Cuando la ubicación de estas nubes no se restringe solamente a las cercanías de la Cordillera Frontal o Cordón del Plata y se extiende en proporciones superiores a los 4/8 del cielo de la región, se asocia a Zonda en altura generalizado en toda la precordillera. Constituye un predictor observacional mas seguro para la aparición del evento en el llano de Mendoza. La mayoría de las veces indica que ya está soplando en la ciudad de San Juan.

En esta ocasión el viento llegó a la ciudad de Mendoza a la madrugada siguiente (día 17 de Junio de 1986) soplando entre las 3 y las 7 HOA. La temperatura máxima de ese día se registró a las 3:30 HOA con 27 °C y un 5% de humedad relativa.

Figura 5.4: Fotografía tomada desde el CRICYT en dirección noroeste a las 15 H0A del día 26 de Mayo de 1986.



Nubosidad del tipo alto-cúmulos y estrato-cúmulos (1,2) conocida también como "nube rotor".

Aparece en situaciones bien definidas de Zonda en altura y suele indicar la proximidad en espacio y tiempo del Zonda en superficie.

En particular a la hora de registrar esta fotografía soplaban viento suave del este, cálido y seco (observar la inclinación de los árboles) conocido como "viento rotor" (ver Apéndice D).

El Viento Zonda, de características severas, apareció unas 18 horas después (ver Apéndice B).

Figura 5.5: Fotografía tomada desde Godoy Cruz en dirección sudoeste a las 8:30 H0A del día 26 de Mayo de 1986.



Este tipo de altocúmulos lenticulares de mayor espesor y bordes bien definidos (1,3) respecto de las anteriores, se asocia a situaciones de Zonda en altura que suelen afectar la precordillera con singular intensidad. Indican la proximidad de un evento severo en el llano.

La pared o franja (4,5) se confunde con las crestas de la montaña. En particular esta nubosidad se registró 24 horas antes de la aparición del Zonda en casi todo el llano cuyano que se caracterizó por su extensa duración y violencia en la ciudad de Mendoza (Apendice B).

Figura 5.6: Fotografía tomada desde el CRICYT en dirección oeste-sudoeste a las 9:30 H0A del día 12 de Junio de 1986.



La foto sintetiza el conjunto nuboso típico de un día de Viento Zonda en altura, que presenta una alta probabilidad de alcanzar el llano.

En (1,2) se ve una formación lenticular y en (3,4) un cumulo pequeño debido al efecto rotor.

La franja o pared presenta distintos espesores, en (1,5) la pared está conformada de altoestratos y en (1,6) de nimboestratos.

El Viento Zonda alcanzó la ciudad de Mendoza el día siguiente a las 12:30 H0A con ráfagas de hasta 22 m/s prolongándose hasta las 19 H0A. Durante los días 12 y 13 de Junio se registró un fuerte temporal de nieve en la alta cordillera y lluvias copiosas en Santiago de Chile.

Figura 5.7: Fotografía tomada en el CRICYT en dirección oeste a las 9 HOA del día 27 de Mayo de 1986 (iniciación de un caso severo).



La pared del Zonda observada con nitidez el día anterior (Figura 5.6) avanzó hasta cubrir casi totalmente el cielo. Se observan los torbellinos de polvo a unos 500 metros de distancia, indicando la inminencia del Zonda. Detalles de las características de esta situación de Zonda severo figuran en el Apéndice B.

### 5.3 ELEMENTOS SINOPTICOS Y AEROLOGICOS DE PREDICCION

Algunos de los resultados obtenidos al analizar exhaustivamente el caso típico de Viento Zonda del 23 de Agosto de 1983 (Capítulo 3) se tomaron en cuenta como elementos predictivos del fenómeno en el llano.

Se destacan :

1. El desplazamiento de un anticiclón migratorio desde la Patagonia hacia el litoral argentino.
2. El flujo del norte en superficie, en el centro del país.
3. Una vaguada entrante desde el Océano Pacífico.
4. El desplazamiento de la DNOA hacia el sur de su posición habitual.

5. La presencia de un frente caliente en el extremo norte o noreste del país.
6. La fuerte baroclinicidad en la zona de Cuyo.
7. La presencia de Viento Zonda en estaciones de montaña.
8. La cercanía de un centro de baja presión entrando por el norte de la Patagonia con un frente frío acercándose a la cordillera de Cuyo desde el oeste-sudoeste.

Además, el análisis de los campos medios de presión (Capítulo 4) con figuras tales como la de anomalías de días con Zonda respecto del promedio (fig. 4.3); el mapa isalobérico de días con Zonda (fig. 4.4); las anomalías del día anterior al evento respecto del promedio (fig. 4.6) otorga herramientas importantes para el pronóstico.

En particular, como la iniciación del Zonda tiende a registrarse en horas de la tarde (Capítulo 2) y el mapa medio de días de Zonda (Capítulo 4) fue construido con datos de presión de superficie a las 9 HOA, esta configuración básica (fig. 4.2) podría considerarse como la típica situación sinóptica de superficie predictiva de Zonda.

Also semejante ocurre con los radiosondeos medios y la distribución vertical media del viento del día de Zonda, también de las 9 HOA.

Por otra parte, el análisis de la variación de la presión atmosférica en Santiago de Chile y en El Plumerillo da indicios de la probabilidad de Zonda en la ciudad de Mendoza.

Las figuras 5.8; 5.9 y 5.10 muestran la disminución de la presión, antes de la ocurrencia del Zonda notándose que el evento aparece en todos los casos cuando el barógrafo indica valores inferiores a los 1005 hPa (al nivel del mar) o 925 hPa (al nivel de la estación) en El Plumerillo (ver también B.3).

También en Santiago se registra un descenso de presión pero no tan significativo.

#### **5.4 OBTENCION DE PREDICTORES UTILIZANDO EL ANALISIS DISCRIMINANTE ESCALONADO**

Para pronosticar el Viento Zonda con métodos computacionales se definieron cuatro grupos:

1. Grupo Zonda: correspondiente a los días con Zonda en el llano (Mendoza y/o San Juan) definidos a partir del método de identificación de libretas meteorológicas descrito en el 2.2.1.
2. Grupo Previo 24 horas: contiene los días que precedieron al día de Viento Zonda.
3. Grupo Previo 48 horas: contiene los días que precedieron a los días definidos como 'Previo 24 horas'. (Ver Nota al pie)
4. Grupo Otros: son todos los días restantes de la serie no pertenecientes a ninguno de los tres grupos antes mencionados.



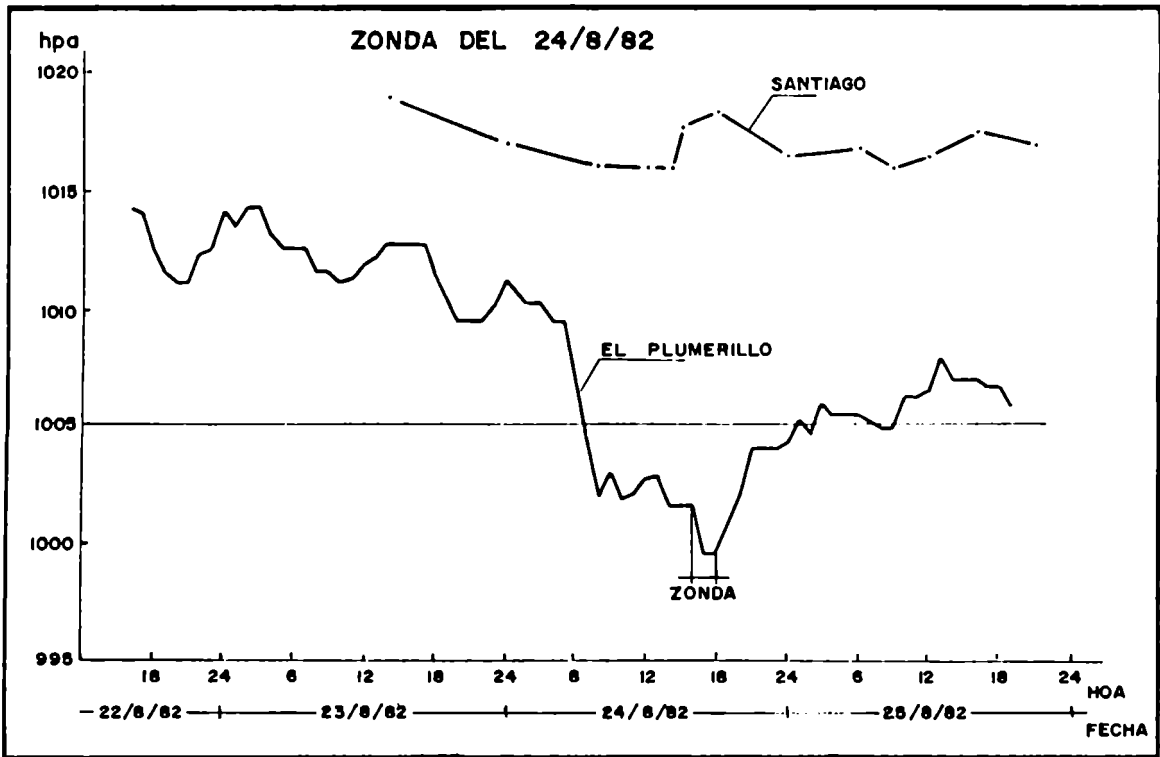


Fig. 5.8: Variación de la presión en El Plumerillo y Santiago de Chile los días próximos anteriores y posteriores al 24 de agosto de 1981.

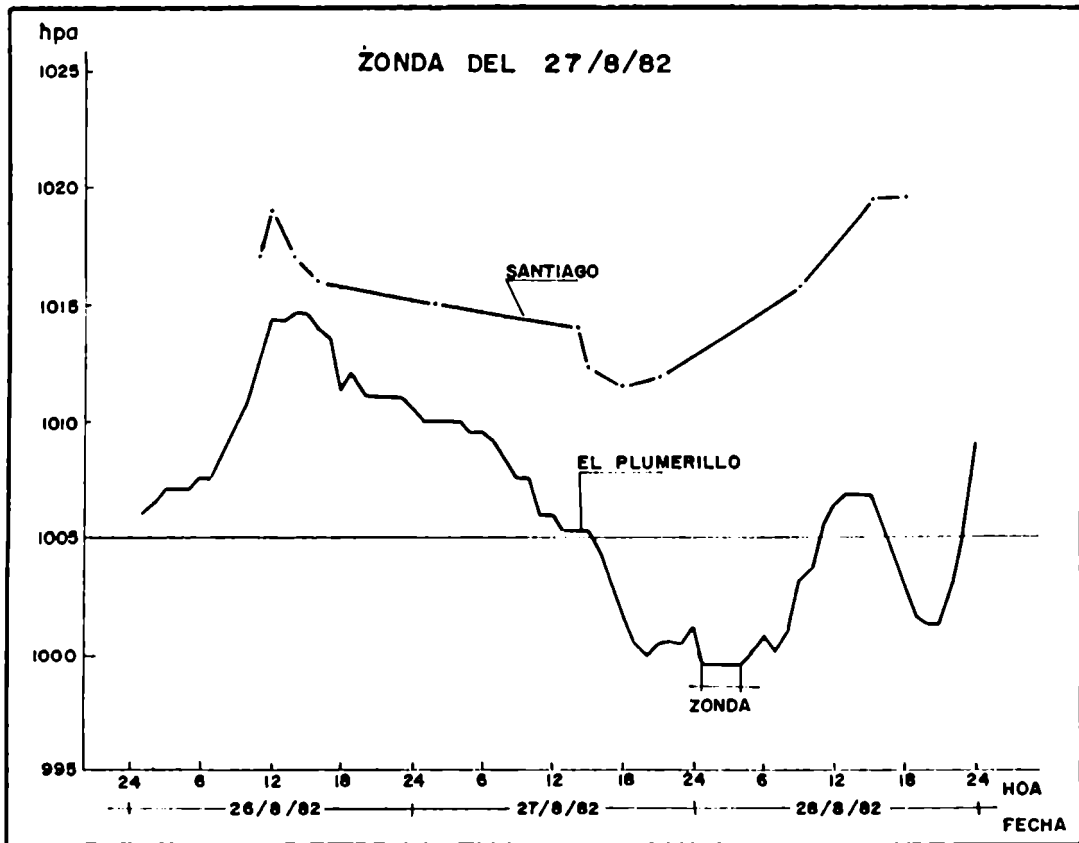


Fig. 5.9: Variación de la presión en El Plumerillo y Santiago de Chile los días próximos anteriores y posteriores al 27 de agosto de 1982.

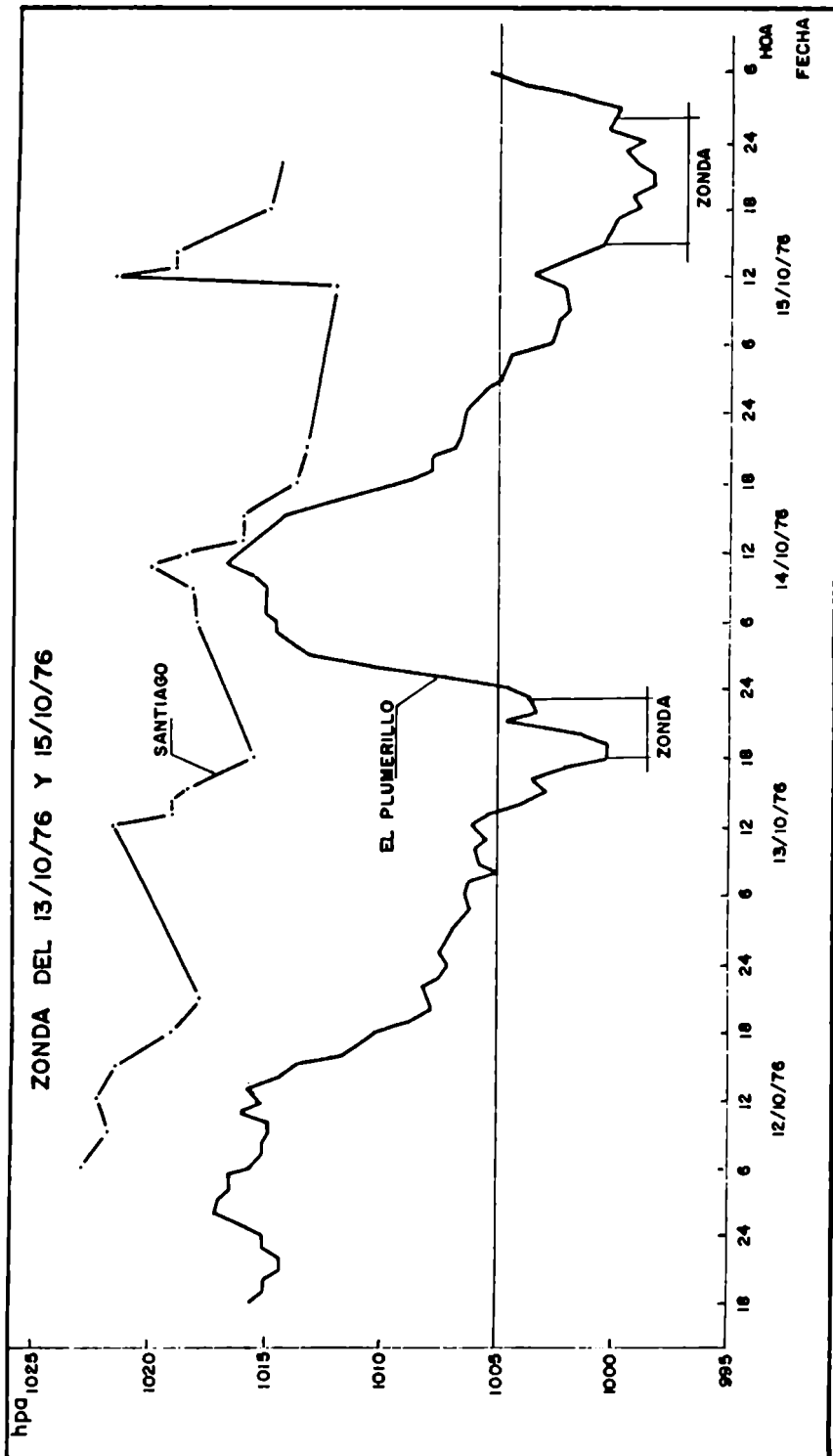


Fig. 5.10: Variación de la presión en El Plumerillo y Santiago de Chile los días  
 anteriores y posteriores al 13 y 15 de octubre de 1976.

Una vez seleccionados los grupos se necesitaba saber si existían variables que pudieran indicar con poco error la pertenencia de un determinado día a alguno de los grupos definidos.

Pudiéndose hacer esta clasificación, se estaría en condiciones de pronosticar Zonda hasta con 48 horas de antelación a partir de esas variables asumidas como predictoras.

El programa de ADE realizó la discriminación. Se consideraron los datos de presión de 12 UTC de las 81 estaciones ya utilizadas en el análisis de los campos medios de presión y los de radiosondeo de Quintero y El Plumerillo, de los inviernos de los años 1974 a 1983.

#### 5.4.1 Gradientes espaciales de presión como predictores

Un primer conjunto de variables predictoras se obtuvo a partir del análisis de gradientes espaciales de presión de 12 UTC.

Se definieron arbitrariamente algunos  $\Delta P$  (diferencias de presión) zonales y meridionales que supuestamente deberían tener incidencia en la discriminación entre esos cuatro grupos:

Las diferencias  $\Delta P$  correspondieron a

Presión en	menos	Presión en
San Rafael		Curicó
Neuquén		Concepción
Bariloche		Puerto Montt
Chañaral		Valparaíso
La Serena		Valparaíso
Valparaíso		Concepción
El Plumerillo		Ezeiza
Chañaral		Puerto Montt
El Plumerillo		Chañaral
Neuquén		Puerto Montt

Además se calculó el término ILICH (Índice de Lichtenstein)

$ILICH = 0.5 \times [(0.5 \times \text{Antofagasta} + \text{Valparaíso}) + \text{Paso de los Libres}] - \text{La Rioja}$

empleado para cuantificar la intensidad de la DNOA (Lichtenstein,

Nota: Se desecharon de la muestra aquellos días o registros donde la categorización resultaba superpuesta ya que podría ocurrir, por ejemplo, que un día del grupo Previo 48 horas también fuera del grupo Zonda.

E.R., 1980).

Los resultados del ADE para este conjunto de variables se indican en Tabla 5.1.

TABLA 5.1 SELECCION DE GRADIENTES ESPACIALES DE PRESION MEDIANTE EL ADE

GRADIENTE SELECCIONADO	VALOR F
CHANARAL - PTO.MONTT	100.6466
SAN JUAN - LA SERENA	7.8958

Se observa que tan solo dos de ellos : Chañaral - Pto.Montt y San Juan - La Serena fueron seleccionados como significativos para discriminar entre estos cuatro grupos. El resto fue desechado en el segundo paso del programa correspondiendole al índice ILICH un valor  $F=3.454$ , siendo esta variable la más próxima a ser entrada, dentro del conjunto de las descartadas. La tabla 5.2 indica el porcentaje de valores correctos correspondientes.

TABLA 5.2 MATRIZ DE CLASIFICACION CON GRADIENTES DE PRESION

GRUPO CORRECTO	PORCENTAJE OTROS	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS EN EL GRUPO			
		ZONDA	PREV24	PREV48	
OTROS	62.9	666	94	171	127
ZONDA	77.1	1	54	10	5
PREV24	45.5	9	13	25	8
PREV48	21.3	15	9	13	10
TOTAL	61.4	691	170	219	150

Se ve además que el método rescató del conjunto de gradientes espaciales introducidos para el análisis a uno en sentido meridional (Chañaral - Pto.Montt) y otro en sentido casi zonal (San Juan - La Serena). El primero da idea de la importancia que tiene para la clasificación el índice de circulación zonal y especialmente la perturbación o depresión que se acerca a la costa chilena a la latitud de la isla Chiloe. El segundo, en sentido noroeste-sudeste, indica la influencia que ejercen en la clasificación de los grupos el mayor o menor desplazamiento hacia el sur de la DNOA y hacia el norte del borde del anticiclón subtropical del Océano Pacífico, respecto de sus posiciones habituales.

#### 5.4.2 Presión atmosférica de diferentes estaciones como predictores

Otro análisis se realizó tomando los valores de presión del conjunto de las 81 estaciones con el fin de obtener la o las estaciones que mejor discriminaran entre grupos.

La selección de estaciones cuyas presiones a las 12 UTC son significativas para discriminar entre los cuatro grupos, permitió rescatar del conjunto total tan sólo a cinco de ellas (tabla 5.3). El porcentaje total de valores correctos no difiere sustancialmente del caso anterior (tabla 5.4).

TABLA 5.3 SELECCION DE ESTACIONES CON DATOS SIGNIFICATIVOS DE PRESION

ESTACION SELECCIONADA	VALOR F
PUERTO MONTT	97.3427
SANTA ROSA	8.2589
TREINTA Y TRES ORIEN.	6.3390
ORCADAS	4.5690
CABO RAPER	4.3198

TABLA 5.4 MATRIZ DE CLASIFICACION CON DATOS DE PRESION

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS EN EL GRUPO			
		OTROS	ZONDA	PREV24	PREV48
OTROS	62.3	659	102	120	177
ZONDA	75.7	4	53	12	1
PREV24	36.4	4	14	20	17
PREV48	36.2	15	5	10	17
TOTAL	60.9	682	174	162	212

El hecho que Puerto Montt fuera seleccionada en primer lugar estaria relacionado con las depresiones que se acercan al continente desde el Océano Pacífico a esas latitudes y que, como se ha visto ya en capítulos anteriores, conforman uno de los elementos sinópticos de importancia asociados a días de Zonda y a los que lo preceden (Previo 24 y Previo 48). La ausencia de la depresión o su reemplazo por una zona anticiclónica se asocia a días de no-Zonda (Otros).

La presión de Santa Rosa, en segundo lugar, estaria vinculada a la presencia o no de la vaguada en superficie que identifica a los días de Zonda de los otros grupos, estando lo suficientemente alejada de Puerto Montt como para aportar nuevos elementos de discriminación.

La estación uruguaya de Treinta y Tres Orientales se vincularía a la presencia o no del anticiclón migratorio que luego se une al anticiclón semipermanente del Océano Atlántico (ver Capítulo 3).

La presión de Islas Orcadas informa respecto de la posición de las depresiones circumpolares, que se ubican mas al norte los días de Viento Zonda y los días precedentes.

La estación Cabo Raper es la que otorga mayor información para la discriminación, una vez seleccionados Puerto Montt e Islas Orcadas, siendo la que está más alejada hacia el sudoeste de la línea que une a las otras dos.

#### 5.4.3 Datos del radiosondeo de El Plumerillo como predictores

Un tercer conjunto de variables predictoras se obtienen a partir de la muestra de datos disponibles de los radiosondeos de la estación El Plumerillo.

Los datos de entrada correspondieron a los valores de presión en superficie, más los de temperatura, punto de rocío y componentes zonal y meridional del viento de superficie y de los niveles fijos hasta 200 hPa inclusive.

De las 53 variables consideradas, el ADE rescata tan sólo a cuatro como relevantes para discriminar y actuar como predictoras.

Ellas fueron: la presión en superficie, la depresión del punto de rocío en 850 hPa, la componente meridional del viento en 800 hPa y la componente zonal en 400 hPa (Tabla 5.5).

TABLA 5.5 SELECCION DE VARIABLES PREDICTORAS CON DATOS DEL RADIOSONDEO DE EL PLUMERILLO

VARIABLE SELECCIONADA	VALOR F
PRESION DE SUPERFICIE	51.3284
DEP. Td EN 850 hPa	8.5275
COMP.MERID. v 850 hPa	5.5702
COMP.ZONAL u 400 hPa	5.7827

El porcentaje total de clasificaciones correctas, que figura en Tabla 5.6 es menor que el correspondiente a los casos anteriores,

TABLA 5.6 MATRIZ DE CLASIFICACION DE CASOS SEGUN DATOS DE RADIOSONDEO DE EL PLUMERILLO

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS EN EL GRUPO			
		OTROS	ZONDA	PREV24	PREV48
OTROS	51.9	344	45	135	139
ZONDA	77.5	1	31	6	2
PREV24	52.9	4	4	18	8
PREV48	41.9	8	2	8	13
TOTAL	52.9	357	82	167	162

Que el método haya seleccionado a la presión de superficie como variable relevante estaría asociado a que la disminución de la misma es función de la aparición del Zonda en el llano (ver 5.3).

La depresión del punto de rocío en 850 hPa es importante ya que en ese nivel se ubica con mayor frecuencia el máximo secamiento y calentamiento debido al Zonda, que a esa altura ya puede estar soplando en la mañana, los días de Zonda en el llano, sin haber aparecido aun en superficie.

Una componente del norte mayor que el promedio en capas bajas se observó en el análisis de condiciones sinópticas y aerológicas ligadas al Zonda (Capítulo 4) hecho que explicaría la selección de la componente meridional del viento en 800 hPa.

Asimismo, la mayor componente del oeste por encima de la cresta de la cordillera, asociada a la cercanía de la corriente en chorro los días de Zonda, explicaría la importancia de la misma en el nivel de 400 hPa.

#### 5.4.4 Datos del radiosondeo de Quintero como predictores

Un cuarto conjunto de predictores se obtuvo realizando procedimientos semejantes con los datos de radiosondeo de Quintero (Chile). La Tabla 5.7 indica los resultados obtenidos. De 58 variables tan sólo 3 fueron significativas, siendo todas relativas al viento no habiéndose seleccionado ningún parámetro isotérmico.

TABLA 5.7 SELECCION DE VARIABLES PREDICTORAS  
CON DATOS DE RADIOSONDEO DE QUINTERO

VARIABLE SELECCIONADA	VALOR F
COMP.ZONAL u 700 hPa	5.3731
COMP.MERID. v 250 hPa	4.9519
COMP.MERID. v 300 hPa	5.6145

La cercanía de una vazuada los días de Zonda, implicando una mayor componente del norte (viento del noroeste), sería la causa de la selección de las componentes meridionales del viento en capas altas de la atmósfera a barlovento de Los Andes.

TABLA 5.8 MATRIZ DE CLASIFICACION CON DATOS  
DE RADIOSONDEOS DE QUINTERO

GRUPO	PORCENTAJE CORRECTO	NUMERO DE CASOS CLASIFICADOS EN EL GRUPO			
		OTROS	ZONDA	PREV24	PREV48
OTROS	61.7	216	29	56	49
ZONDA	66.7	1	6	1	1
PREV24	20.0	2	3	2	3
PREV48	41.2	5	3	2	7
TOTAL	59.8	224	41	61	60

Se ve en la Tabla 5.8 que el porcentaje total de clasificaciones correctas es semejante al de los dos primeros casos.

Comparando las matrices de clasificación de los cuatro conjuntos de variables predictoras, se observa que las relativas a los gradientes espaciales y la presión son las que mayores porcentajes correctos presentaron en términos generales (61.4% y 60.9% respectivamente).

En cambio, los obtenidos con radiosondeos de El Plumerillo presentan un menor porcentaje correcto de clasificación general, pero muy alto (77.5%) en los días Zonda y en los de Previo 24 (52.9%).

## 5.5 LOS PROGRAMAS PREDICTORES

Según se menciona en el Apéndice A, las variables que resultaron elegidas, que son las que mejor discriminan entre grupos, se expresan en forma de funciones de clasificación con sus coeficientes y sus términos constantes, habiendo tantas funciones como grupos.

Cada una permite obtener un puntaje de clasificación de un determinado día para ese grupo y el día pertenecerá al grupo cuya función dé el puntaje mayor.

Además se puede obtener la probabilidad que un día determinado pertenezca a un grupo u otro mediante los puntajes de clasificación. La fórmula de conversión de los puntajes de clasificación en probabilidades posteriores figura en el Apéndice A.

De esta manera el programa ADE re-evaluó la serie 1974/83 de la cual se habían obtenido las funciones de clasificación caso por caso y esto fue utilizado en la evaluación del método según se verá más adelante.

Como los cuatro grupos se definieron con un criterio temporal y se encontraron variables que los discriminaran, es posible entonces pronosticar el día de Viento Zonda.

Con las funciones discriminantes obtenidas se implementaron programas predictivos (PP) utilizando:

1. Gradientes espaciales de presión (PP1).  
Presión de superficie de estaciones seleccionadas (PP2).
3. Variables seleccionadas del radiosondeo de El Plumerillo (PP3).
4. Variables seleccionadas del radiosondeo de Quintero (PP4).

En los ejemplos de las tablas 5.9a, 5.9b y 5.9c se indican los valores de probabilidad posterior de los días 21, 22 y 23 de Agosto de 1983 obtenidos aplicando PP1, PP2 y PP3 (no se dispuso de datos del radiosondeo de Quintero para aplicar PP4) así como la evolución de los valores de los parámetros predictores hacia conclusiones favorables al Zonda (intensificación de gradientes espaciales, aumento de la presión en Orcadas y pasaje del anticiclón misratorio por Uruguay, disminución de presión en las otras estaciones, secamiento y calentamiento repentino en 850 hPa sobre Mendoza, aumento de la componente norte del viento en capas bajas y oeste por encima de la cordillera).



TABLA 5.9 EJEMPLOS DE PROBABILIDADES POSTERIORES OBTENIDAS  
LOS DIAS 21, 22 Y 23 DE AGOSTO DE 1983

TABLA 5.9a APLICANDO PP1

DIA	PROBABILIDADES POSTERIORES				VALORES DE VARIABLES			
	ZONDA	PREV24	PREV48	OTROS	SAN JUAN	CHANARAL	LA SERENA	P.MONTT
21-8-83	0.09	0.27	0.33	0.30	1016.8	1017.5	1017.0	1013.0
22-8-83	0.15	0.28	0.32	0.25	1014.2	1016.5	1017.0	1010.0
23-8-83	0.61	0.23	0.13	0.04	1007.4	1018.2	1018.3	1000.0

TABLA 5.9b APLICANDO PP2

DIA	PROBABILIDADES POSTERIORES				VALORES DE VARIABLES				
	ZONDA	PREV24	PREV48	OTROS	TREINTA	S.ROSA	P.MONTT	RAPER	ORCADAS
21-8-83	0.08	0.35	0.32	0.24	1019.8	1021.0	1013.0	1011.0	1012.0
22-8-83	0.23	0.37	0.20	0.20	1023.9	1017.6	1010.0	1005.8	1019.9
23-8-83	0.60	0.28	0.09	0.03	1017.9	1009.4	1000.0	996.0	1015.1

TABLA 5.9c APLICANDO PP3

DIA	PROBABILIDADES POSTERIORES				VALORES DE VARIABLES			
	ZONDA	PREV24	PREV48	OTROS	PRESION	Td	v800	u400
21-8-83	0.08	0.40	0.25	0.27	1013.2	8.9	-9.8	22.3
22-8-83	0.04	0.32	0.34	0.29	1011.8	4.8	11.9	32.2
23-8-83	0.97	0.02	0.01	0.00	1005.8	21.9	-31.0	56.0

## 5.6 VERIFICACION DE LOS PRONOSTICOS

Se efectuó evaluando la serie con las funciones discriminantes. Con las matrices de clasificación que figuran en las Tablas 5.2, 5.4, 5.6 y 5.8 y con la probabilidad con que cada pronóstico es expresado, es posible la evaluación de los mismos en forma determinística o probabilística.

### 5.6.1 Pronóstico determinístico de la ocurrencia de Viento Zonda

Los programas predictores utilizados expresan sus pronósticos en términos de probabilidades. Existe siempre una cierta probabilidad de Zonda hoy, de Zonda mañana, de Zonda pasado mañana y que no haya Zonda.

La sumatoria de estas cuatro probabilidades es igual a uno. Puede ocurrir que estos grupos sean equiprobables o no. A medida que la probabilidad de un grupo aumenta (en detrimento de la probabilidad de los otros) acercándose a 1, se dice determinísticamente que el fenómeno ocurrirá.

Por ejemplo, si se obtuvo un resultado como el del 23-8-83 aplicando a las 12 UTC los PP1, PP2 o PP3 se pronostica determinísticamente 'SI' Zonda para hoy dándole 'NO' a los otros grupos.

Este criterio fue aplicado, día a día, a los inviernos de los años 1974 a 1983. Se hizo el pronóstico para cada día y se observó si se verificó o no el suceso pronosticado calificándolo de la siguiente forma:

PRONOSTICADO	OBSERVADO	CALIFICACION
SI	SI	Acierto
SI	NO	Desacierto, falsa alarma
NO	SI	Desacierto, sorpresa
NO	NO	Acierto

De acuerdo a los resultados obtenidos en todo el periodo, se construyeron tablas de contingencia. Se partió del valor umbral de probabilidad de Zonda igual a 0.26 para establecer el pronóstico de SI ocurrencia.

Se aplicaron los cuatro programas predictores implementados (PP1, PP2, PP3 y PP4).

TABLA 5.10: TABLAS DE CONTINGENCIA DE VERIFICACION DE PRONOSTICOS.

TABLA 5.10a: CON PP1.

OBS.	PRONOS.	SI	NO	SUM.
SI		54	16	70
NO		116	1044	1160
SUM.		170	1060	1230

TABLA 5.10b: CON PP2.

OBS.	PRONOS.	SI	NO	SUM.
SI		53	17	70
NO		121	1039	1160
SUM.		174	1056	1230

TABLA 5.10c: CON PP3.

OBS.	PRONOS.	SI	NO	SUM.
SI		31	10	41
NO		51	677	728
SUM.		82	687	769

TABLA 5.10d: CON PP4.

OBS.	PRONOS.	SI	NO	SUM.
SI		6	35	41
NO		3	342	345
SUM.		9	377	386

Los valores que figuran en estas tablas se obtuvieron de las matrices de clasificación calculadas por el ADE. Se observa que en los métodos de Tabla 5.10a, 5.10b y 5.10c el número de veces que se pronosticó Zonda y no ocurrió (falsas alarmas) supera ampliamente al número de veces que no se pronosticó Zonda y sí ocurrió (sorpresas).

A la inversa ocurre con los casos derivados del radiosondeo de Quintero (Tabla 5.10d) aunque esto podría deberse a la poca cantidad de días considerados por el ADE dada la gran cantidad de datos faltantes en cada uno de los radiosondeos.

Se determinó también el porcentaje de aciertos A y el 'grado de acierto' o 'Skill-score' (Brier, G.W., 1950)

Para el cálculo de estos porcentajes se convino la siguiente notación:

N = número de pronósticos.

(A) = número de veces en que se pronostico SI.

(B) = número de veces en que se pronostico NO.

(a) = número de veces en que se observo SI.

(b) = número de veces en que se observo NO.

Además

(AB) = número de veces pronóstico SI, ocurrencia SI (acierto).

(Ab) = número de veces pronóstico SI, ocurrencia NO (falsa alarma).

(aB) = número de veces pronóstico NO, ocurrencia SI (sorpresa).

(ab) = número de veces pronóstico NO, ocurrencia NO (acierto).

Luego

$$A = \frac{(AB) + (aB)}{N} \times 100$$

El 'grado de acierto' S o 'Skill-score' se define como

$$S = \frac{(AB) + (aB) - L}{N - L} \quad \text{con } L = \frac{(AB) + (aB)}{N}$$

siendo L conocido como 'número de aciertos por chance climatológica' indicando cuántos pronósticos acertaría un neófito por azar. El grado de acierto S (Skill-score) filtra esos aciertos por azar.

Si el número de aciertos de algunos de los métodos predictivos implementados fuese igual al número de aciertos por chance climatológica entonces S sería igual a cero. Por el contrario, S igual a uno significaría acierto total.

La Tabla 5.11 indica los resultados para los cuatro tipos de pronóstico aplicados.

TABLA 5.11: VERIFICACION DE PRONOSTICOS

	A	L	S
GRADIENTES ESPACIALES DE PRESION (PP1)	89%	1009.3	0.40
VALORES DE PRESION A 12 UTC (PP2)	89%	1005.8	0.38
RADIOSONDEOS DE EL PLUMERILLO (PP3)	93%	654.5	0.47
RADIOSONDEOS DE QUINTERO (PP4)	90%	337.9	0.21

El hecho de asignar determinísticamente el pronóstico 'SI' al grupo con mayor probabilidad y 'NO' a los otros tiene sus peligros cuando esa probabilidad es ligeramente superior a 0.25. Estos casos son considerados 'indefinidos' o 'difíciles de pronosticar'.

Por otra parte, a medida que la probabilidad de Zonda aumenta, la frecuencia relativa de eventos también aumenta.

La figura 5.11a indica que las mayores frecuencias de probabilidades de aciertos de pronóstico de Zonda oscilan entre 0.40 y 0.70 si se aplica PP1; entre 0.60 y 0.70 aplicando PP2 (figura 5.11b); superiores a 0.90 en PP3 (figura 5.11c) y entre 0.40 y 0.50 con PP4 (figura 5.11d).

Las figuras 5.11a; 5.11b y 5.11d indican que las probabilidades de acierto tienen una distribución normal, mientras que en la 5.4c (con PP3) las frecuencias de probabilidades son crecientes hacia el acierto total.

La figura 5.12a indica que la mayor cantidad de falsas alarmas ocurren con pronósticos de Zonda realizados con valores de probabilidad que oscilan entre 0.30 y 0.50 y que disminuyen rápidamente con valores superiores (con PP1). La figura 5.12b (con PP2) indica condiciones semejantes a la anterior.

La figura 5.13a indica que las sorpresas no ocurren con valores de probabilidad superiores a 0.40 (aplicando PP1) y la 5.13b muestra que aplicando el PP2 las sorpresas no ocurren con probabilidades mayores a 0.30. Para los programas PP3 y PP4 no se calcularon histogramas de falsas alarmas y/o sorpresa debido a la disminución del tamaño de la muestra.

Por otra parte, volviendo a la Tabla 5.12, se ve que los aciertos del tipo (ab) (pronosticado NO, observado NO) incluyen los casos en que se pronosticó OTROS y se observó OTROS, se pronosticó OTROS y se observó PREVIO24, se pronosticó OTROS y se observó PREVIO48, es decir, los días restantes en los que ni se pronosticó ZONDA ni se observó ZONDA. Estos casos se cuentan como 'acierto' en lo que respecta al pronóstico y observación de Zondas.

Este criterio puede despertar dudas, por lo que se decidió confeccionar la tabla de contingencia 5.12 en base a la discriminación entre Zonda y Otros de variables derivadas del radiosondeo de El Plumerillo (con solo dos grupos). Se ve que ni la tabla, ni los valores de A, L ni S difieren sustancialmente de los respectivos valores hechos con cuatro grupos. Esto permite establecer, ante las pocas diferencias observadas en la validación, que es más ventajoso implementar pronósticos con cuatro

Fig. 5.11: Histogramas de probabilidades de 'Si Zonda' y 'Si ocurrencia' (aciertos).

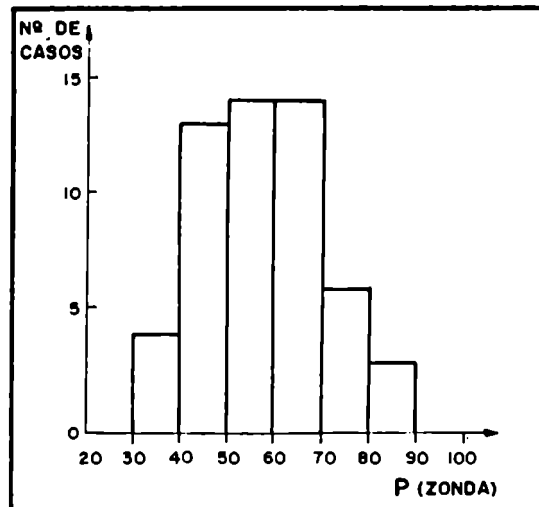


Fig. 5.11a: con PP1.

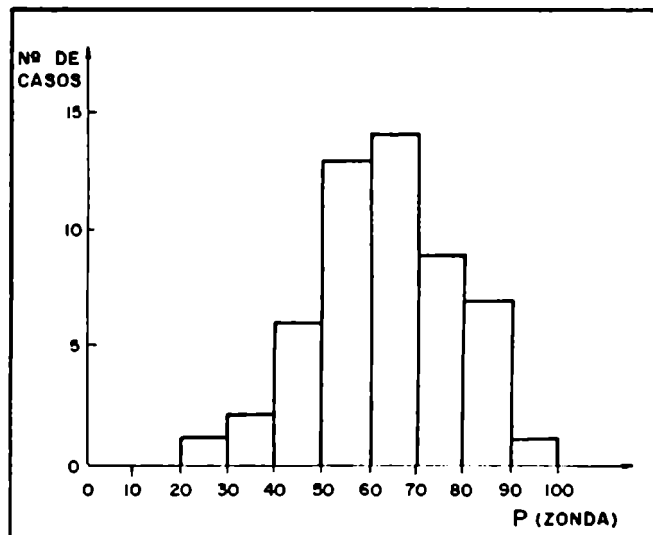


Fig. 5.11b: con PP2.

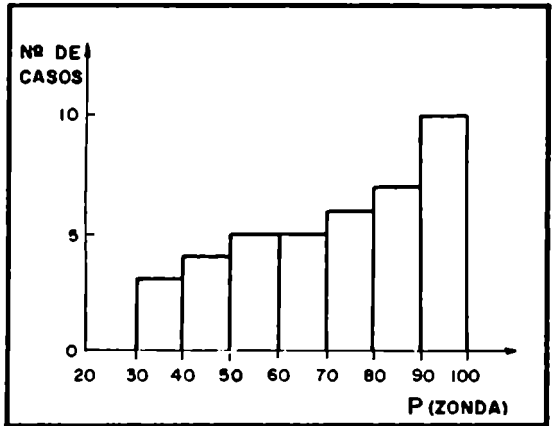


Fig. 5.11c: con PP3.

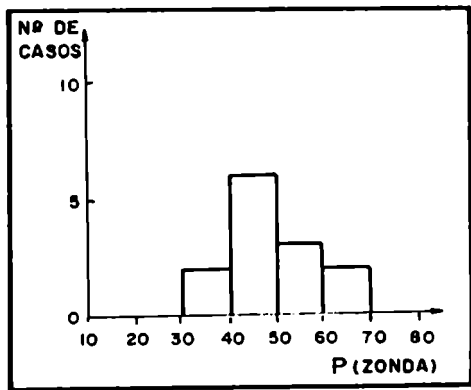


Fig. 5.11d: con PP4.

Fig. 5.12: Histogramas de probabilidades de 'Si Zonda' y 'No ocurrencia' (falsas alarmas).

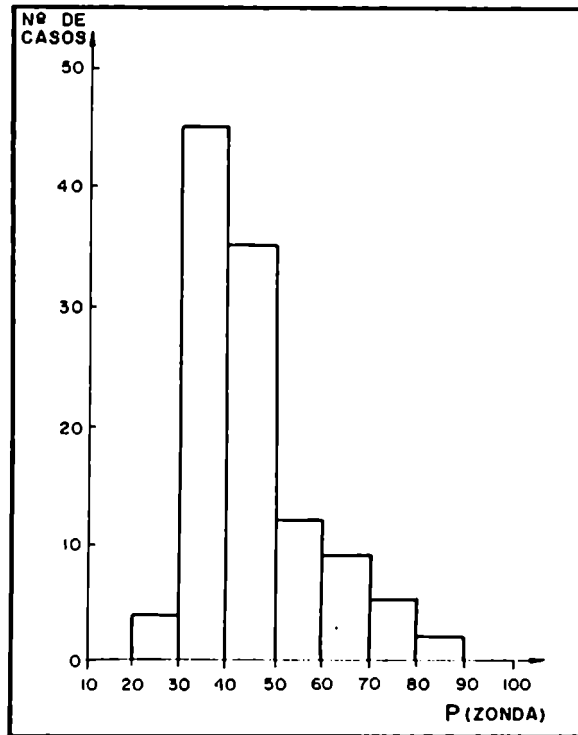


Fig. 5.12a: con PP1.

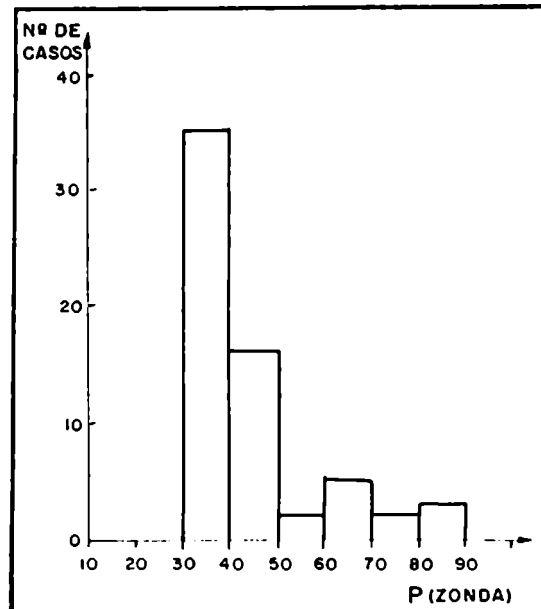


Fig. 5.12b: con PP2.

Fig. 5.13: Histogramas de probabilidades de 'No Zonda' y 'Si ocurrencia' (sorpresas).

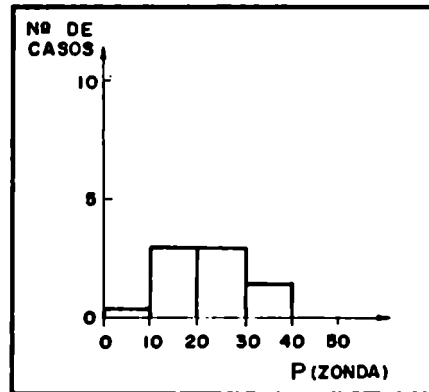


Fig. 5.13a; con PP1.

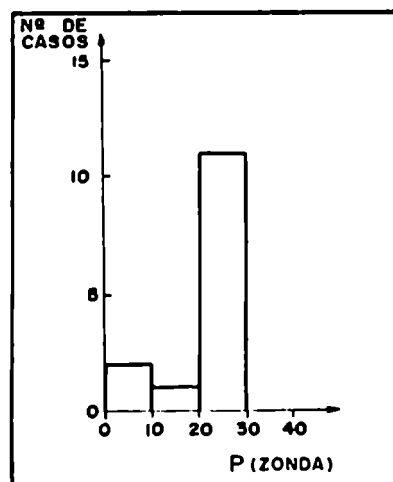


Fig. 5.13b; con PP2.



GRUPOS, que con sólo dos, en tanto permite inferir posibles condiciones hasta con dos días de anticipación.

TABLA 5.12: TABLA DE CONTINGENCIA DE VERIFICACION DE PRONOSTICOS, USANDO LAS VARIABLES SELECCIONADAS DE LOS RADIOSONDEOS DE EL PLUMERILLO CON DOS GRUPOS: ZONDA Y OTROS.

	PRONOS.	SI	NO	SUM.
OBS.				
SI		35	5	40
NO		73	655	728
SUM.		108	660	768

### 5.6.2 Pronóstico probabilístico del fenómeno

Los programas predictivos desarrollados calculan para cada día la probabilidad de ocurrencia de Zonda hoy, mañana, pasado y que no suceda, según la función discriminante obtenida.

El fenómeno puede manifestarse  $m$  veces con una determinada probabilidad  $x_i$  anunciada  $n$  veces.

La frecuencia relativa  $y_i$  de una probabilidad  $x_i$  es el número obtenido al dividir las veces que el fenómeno se manifestó ( $m$ ) por el número de veces que se pronosticó ( $n$ ) con una determinada probabilidad  $x_i$ .

Para evaluar los métodos de pronóstico se calculó el coeficiente de correlación  $r_p$  entre las probabilidades  $x_i$  y las frecuencias relativas observadas  $y_i$ , definido como :

$$r_p = \frac{\sum_{i=1}^V x_i y_i}{\sqrt{\sigma_{x_i} \sigma_{y_i}}}$$

donde

$V$  es el número de las distintas probabilidades en uso.

$\sigma_{x_i}$  es la variancia de las probabilidades.

$\sigma_{y_i}$  es la variancia de las frecuencias relativas.

Para que el pronóstico sea útil,  $r_p$  debe ser positivo. Por otra parte, si el número  $N$  de pronósticos se hace grande, la frecuencia de ocurrencia de Zonda se acercará a la frecuencia climatológica, lo que permite obtener un puntaje mayor del valor de  $r_p$  pero así el pronóstico presta menor utilidad.

Por eso se calcula el promedio del valor absoluto de la diferencia entre la probabilidad pronosticada elevada al cuadrado con 1 si el Zonda sucede y con 0 si no ocurrió. Este índice, propuesto por Brier, fuerza al pronóstico a acercarse a las probabilidades extremas (la probabilidad 0

corresponde al pronóstico determinístico NO y la 1 al SI).

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i \quad \left\{ \begin{array}{l} D_i = 1 - x_i^2 \quad (\text{días con Zonda}) \\ D_i = x_i^2 \quad (\text{días sin Zonda}) \end{array} \right.$$

Cuanto menor es el valor de D medio tanto mejor será el pronóstico. El acierto absoluto determinístico se consigue si D medio es igual a cero.

TABLA 5.13 EVALUACION PROBABILISTICA DE LOS PROGRAMAS PREDICTORES

PROGRAMA PREDICTOR	COEFICIENTE DE CORRELACION	INDICE D DE BRIER
GRADIENTES ESPACIALES DE PRESION (PP1)	0.78	0.37
VALORES DE PRESION A 12 UTC (PP2)	0.79	0.36
RADIOSONDEOS DE EL PLUMERILLO (PP3)	0.75	0.38
RADIOSONDEOS DE QUINTERO (PP4)	0.42	0.30

La tabla 5.13 permite establecer para la evaluación probabilística que el programa predictivo que mejor funciona es el PP2. En particular el PP4 si bien tiene bajo índice de correlación es el que menor valor de D medio presenta. Esto podría deberse a la limitación en el tamaño de la serie de radiosondeos de Quintero.

## 5.7 CONCLUSIONES

La nubosidad que adquiere forma lenticular da idea de la existencia de Viento Zonda en altura, pero no es siempre un predictor observacional de la aparición del fenómeno en el llano. Esto ocurre sobretodo en las etapas iniciales de Zonda (escasos altocúmulos y cirrocúmulos en cielos totalmente claros).

Cuando la nubosidad lenticular se extiende a proporciones mayores del cielo, hay mas seguridad que el Zonda descienda a la ciudad de Mendoza.

La nube 'en rollo' o 'rotor' indica estados de Zonda bien definidos y desarrollados y alta probabilidad de ocurrencia en el llano.

Hay cierto tipo de altocúmulos lenticulares de notable espesor y bordes bien definidos que se asocian a la posibilidad de ocurrencia de Viento Zonda severo.

Si desde la ciudad se observa el conjunto de elementos nubosos de Zonda tales como: franja o pared, nube rotor y nubes lenticulares en una atmosfera diáfana que permite visualizar claramente los accidentes

orográficos de la precordillera, la posibilidad también es alta.

La presencia de nubes de polvo y el avance de la franja o pared hasta el cenit actúan como predictores observacionales de 'corto plazo'.

El análisis de los campos medios de presión y las conclusiones derivadas del estudio del caso del 23 de Agosto de 1983, dan una serie de elementos que permiten presuponer la aparición del Viento Zonda en el llano.

Cuando la situación sinóptica es semejante al mapa medio de días con Zonda de las 9 HOA, se puede esperar Viento Zonda en la ciudad de Mendoza en las horas siguientes, preferentemente en la tarde.

La presencia de viento en estaciones de montaña en forma continua y prolongada es otro factor a tener en cuenta.

De un conjunto de variables de entrada el ADE seleccionó algunas que fueron asumidas como predictoras:

1. Un gradiente espacial meridional.
2. Un gradiente espacial cuasizonal.

Con ambos gradientes se conformó el PP1.

3. Los valores de presión atmosférica de las 12 UTC de estaciones que se encuentran suficientemente distantes entre sí como para discriminar respecto del campo bérico correspondiente a cada grupo de días.

Se destaca la presión de Puerto Montt, Santa Rosa, Treinta y Tres, Cabo Raper e Islas Orcadas.

Con estas variables se construyó el PP2.

4. Parámetros derivados del radiosondeo de El Plumerillo tales como: presión en superficie, depresión del punto de rocío en 850 hPa, componente meridional del viento en 800 hPa y componente zonal por encima de la cresta de la cordillera (400 hPa).

Con estos parámetros se confeccionó el PP3.

5. Variables derivadas del radiosondeo de Quintero, donde solamente son significativas las componentes meridionales del viento en capas altas (250 y 300 hPa) y la componente zonal a 700 hPa.

Con ellas se realizó el PP4.

La evaluación de los cuatro programas predictores implementados se realizó considerando pronósticos determinísticos y probabilísticos, resultando altamente satisfactoria.

Las tablas de contingencia indican que los programas predictivos tienden a sobreestimar la probabilidad de ocurrencia de Zonda en el llano. Los casos de falsas alarmas superan ampliamente a los casos de

## SORPRESAS.

Los valores referentes al porcentaje de aciertos y al 'grado de aciertos' muestran la bondad de los pronósticos computacionales de Viento Zonda.

Cuando las probabilidades están cerca del umbral 0.26 la posibilidad de pronósticos 'indefinidos' o 'casos difíciles de pronosticar' es mayor.

A medida que la probabilidad de Zonda aumenta la frecuencia relativa de aciertos también crece y disminuye rápidamente la frecuencia de falsas alarmas.

Las sorpresas ocurren en general con valores muy bajos de probabilidad de Zonda. En ningún caso superan el valor de 0.30.

En particular, el programa predictivo que utiliza las variables seleccionadas del radiosondeo de Quintero es el que menos confiabilidad presenta. La causa estaría en el tamaño de la muestra, reducida debido a la gran cantidad de datos faltantes.

Todo esto permite asegurar que cualquiera de los programas predictores son útiles y dada la sencillez de los mismos, se pueden implementar en forma operativa en cualquier oficina de pronóstico.

## BIBLIOGRAFIA

- ALAKA, M.A., 1960. 'The airflow over mountains' Nota Técnica No.34. OMM, Ginebra, Suiza.
- BARRY, R.G., 1981. 'Mountain Weather and Climate', Methuen and Co. Ltd, London. Págs.288.
- BOWER, J. Brent y Dale R. DURRAN, 1986. 'A study of wind profiler data collected upstream during windstorms in Boulder, Colorado'. Monthly Weather Review, 114, 1491-1500.
- BRIER, Glenn W., 1950. 'Verification of forecasts expressed in terms of probability'. Monthly Weather Review, Vol.78, No.1, Enero 1950, pag 1-3.
- BRINKMANN, Waltraud A.R., 1970. 'The Chinook at Calgary (Canada)'. Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie, Ser.B, 18, 269-278.
- BRINKMANN, Waltraud A.R., 1973. 'A climatological study of strong downslope winds in the Boulder Area'. PhD Thesis NCAR (Natural Center for Atmospheric Research) Boulder, Colorado. USA.
- BROOKS, C.E.P. y N. CARRUTHERS, 1953. 'Handbook of statistical methods in Meteorology'. Her Majesty's Stat. Office. 414 págs.
- COOLEY, William W. y Paul R. LOHNES, 1971. 'Multivariate Data Analysis'. John Wiley and sons. 364 págs.
- CRUETTE, Denise, 1976. 'Experimental study of mountain lee-waves of satellite photographs and aircraft measurements'. Tellus XXVIII(1976), 6.
- GEORGII, W, 1952. 'Regulación del tiempo por la doble onda diaria de la presión atmosférica en Mendoza'. Meteoros, año II, No.3-4, Julio-Diciembre 1952, págs. 182-189.
- GEORGII, W, 1954. 'Dinámica del viento Zonda en Mendoza'. Anales del Departamento de Investigaciones Científicas de la Universidad Nacional de Cuyo, págs. 109-119.
- GOLDING, Douglas L., 1978. 'Calculated snowpack evaporation during Chinooks along the Eastern Slopes of the Rocky Mountains in Alberta'. Journal of Applied Meteorology, 17, 1647-1651.
- HABER, Audrey y Richard P. RUNYON, 1973. 'Estadística general'. Fondo Educativo Interamericano S.A., 371 págs.
- HOFFMAN, José, 1975. 'Atlas Climático de América del Sur'. Organización Meteorológica Mundial (OMM), UNESCO. Impreso en Cartographia, Budapest, Hungría.
- HOINKA, Klaus P., 1985 'What is a Föhn clearance?'. Institute of Atmospheric Physics, German Aerospace Research Establishment, Bulletin of the American Meteorological Society, Setiembre 1985, pag 1123-1132.
- HOLMES, R.M. y K.D. HAGE, 1971. 'Airborne observations of three Chinook-type situations in Southern Alberta'. Journal of Applied Meteorology, 10, 1138-1153.

- HUSCHKE, Ralph E., 1980. 'Glossary of Meteorology', American Meteorological Society, 638 págs.
- INTERNATIONAL CLOUD ATLAS, World Meteorological Organization, 1956.
- IVES, Ronald L., 1950. 'Frequency and physical effects of Chinook winds in the Colorado High Plains region', Indiana University Association of American Geographers, Annals 40(4), págs. 293-327.
- JULIAN, Lesley T. y Paul R. JULIAN, 1969. 'Boulder's winds', Weatherwise, June 1969, 109-126.
- KEENAN, T.D., 1986. 'Forecasting tropical cyclone motion using a discriminant analysis procedure', Monthly Weather Review, 114, 434-441.
- KERR, Richard A., 1986 'Chinook winds resemble water flowing over a rock', Science, Vol. 231, págs 1244-45, Marzo 1986.
- KLEMP, J.B. y D.K. LILLY, 1978. 'Numerical simulation of hydrostatic mountain waves', Journal of the Atmospheric Sciences, 35, 78-107.
- LESTER, P.F. y J.I. MAC PHERSON, 1977. 'Waves and turbulence in the vicinity of a Chinook arch cloud', Monthly Weather Review, 105, 1447-1457.
- LICHTENSTEIN, Erich R., 1980. 'La depresión del Noroeste Argentino', Tesis doctoral. Buenos Aires, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- LILLY, D.K. y E.J. ZIPSER, 1972. 'The front range windstorm of 11 January 1972 - A meteorological narrative', Weatherwise, April 1972, 56-63.
- LILLY, D.K., 1978. 'A severe downslope windstorm and aircraft turbulence event induced by a mountain wave', Journal of the Atmospheric Sciences, 35, 59-77.
- Mc CUTCHAN, Morris H., 1978. 'A model for predicting synoptic weather types based on model output statistics', Journal of Applied Meteorology, 17, 1466-1475.
- Mc CUTCHAN, Morris H., 1983. 'Comparing temperature and humidity on a mountain slope and in the free air nearby', Monthly Weather Review, 111, 836-845.
- NICHOLLS, J.M., 1973. 'The airflow over mountains', Research 1958-1972, Nota Técnica No 127. Organización Meteorológica Mundial.
- NKEMDIRIM, Lawrence C., 1986, 'Chinooks in southern Alberta: some distinguishing nocturnal features', Journal of Climatology, 6, 593-603.
- NORTE, Federico A., 1979a. 'Clasificación sinóptica de las tormentas convectivas y su relación con las tareas operativas en el área de defensa'. PNLAG 'Informe de las primeras experiencias de Ajuste de Defensa. Temporada granicera 1978-79. Tomo 2, CNIE págs. 11-133.

- NORTE, Federico A., 1982. 'Descripción climático-sinóptica de una tormenta de nieve otoñal en Los Andes Centrales y sus efectos en la región de Cuyo'. Meteorológica, Vol XIV, No 1 y 2, págs. 669-680.
- NORTE, F.A., 1984a. 'Enfriamiento pronunciado en la tropósfera media y baja hacia fines de otoño de 1983'. Anales de la conferencia sobre fenómenos periglaciales, IANIGLA-CONICET, Mendoza, 1983.
- NORTE, Federico A., 1984b 'Relación entre el Zonda térmico y una pausa en las situaciones sinópticas que producen nieve desde la cordillera hasta el llano de la provincia de Mendoza, Argentina'. Sesiones del III Congreso Brasileiro de Meteorología, Diciembre de 1984. Anales, Vol 2, págs. 303-316.
- NORTE, Federico A., 1984c. 'Definición del Zonda en la cordillera frontal mendocina por su efecto térmico'. XIII Conferencia de la A.A.G.G. (Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas), San Carlos de Bariloche, noviembre de 1984. GEOACTA Vol. 13. No.2 (1986) págs. 25 a 35.
- NORTE, Federico A., 1986a. 'Características de una situación de Viento Zonda típico y sus diferencias con casos severos'. Sesiones del Cuarto Congreso Brasileiro de Meteorología y del Primer Congreso Interamericano de Meteorología, Brasilia (Brasil), octubre de 1986. Anales Vol. III.
- OSMOND, H.L., 1941. 'The chinook wind east of the Canadian Rockies'. Canadian Journal of Research. Vol 19 Sec. A. Abril 1941, No.4, págs. 57-66.
- RIEHL, Herbert, 1974. 'On the climatology and mechanisms of Colorado Chinook winds'. 483-504. Bonn. Met. Abhandl. 17, Archiv Für Meteorologie Geophysic und Bioklimatologie.
- ROLON DE LOS SANTOS, G y J. AFONSO, 1977. 'Aspectos estadísticos y sinópticos del viento Zonda'. Meteorológica, Vol. VIII/IX, 1977/78, págs. 321-330.
- SAMSON, C.A., 1965. 'A comparison of mountain slope and radiosonde observations'. Monthly Weather Review, Vol 93, No 5, 327-330.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, 1978. Boletín Informativo 'El viento Zonda'.
- SMITH, Ronald B., 1982. 'Synoptic observations and theory of orographically disturbed wind and pressure'. Journal of the Atmospheric Sciences, 39, 60-70.
- STEINACKER, R., 1984. 'The isentropic vorticity and the flow over and around the Alps'. Rivista di Meteorologia Aeronautica, XLIV, n.1-2-3-4 - 1984.
- VERGEINER, I. y D.K. LILLY, 1970. 'The dynamic structure of lee wave flow as obtained from balloon and airplane observations'. Monthly Weather Review, Vol.98, No.3, 220-232.

- VERGEINER, Ignaz, 1974. 'A numerical model of three-dimensional, mountain-induced gravity wave flow'. Proceedings of the 13th International Meeting on Alpine Meteorology, Saint-Vincent, 17-19 September 1974.
- VERGEINER, Ignaz, 1976. 'Föhn-und Leewellenströmung in einem dreidimensionalen numerischen Modell' (Föhn and lee-wave-flow in a threedimensional numerical model). Ber. nat. med. Ver. Innsbruck, Band 63, S.11-56.
- VERGEINER, Ignaz, 1978. 'Föhnströmung in den Alpen - Dreidimensionale numerische modellrechnungen im lokalen und regionalen scale'. Sonderdruck aus 'Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik' in Wien, Heft 31, Wien 1978.
- WHITEMAN, C. David, et al, 1974. 'An historical climatology of damaging downslope windstorms at Boulder, Colorado'. National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder, Colorado. NOAA Technical Report ERL 336-APCL 35.



## APENDICE A

### EL PROGRAMA DE ANALISIS DISCRIMINANTE ESCALONADO (ADE)

El programa aplicado en este trabajo de tesis para discriminar casos de días con Viento Zonda de los de no-Zonda y para obtener un sistema de programas predictivos del fenómeno, tiene la capacidad de generar un análisis discriminante entre dos o más grupos de parámetros.

Las variables usadas en el cálculo de funciones de clasificación lineal son elegidas de a pasos, es decir, en forma escalonada.

En cada paso la variable que indica la mayor separación entre grupos es introducida dentro de la función discriminante (puede suceder también que una variable sea removida de la función cuando indica la menor separación entre grupos).

La salida muestra en primer lugar un listado de las variables a ser introducidas. Luego indica las opciones específicas del programa, muchas de ellas preasignadas tales como el estadístico F de Fischer (Haber, A. y Richard P. Runyon, 1973) mínimo necesario para que la variable sea entrada o sacada de la función discriminante; el número máximo de pasos que tolera y las probabilidades precedentes de cada grupo.

Luego informa el número de casos leídos. Este programa se caracteriza por usar solamente casos que estén totalmente completos. Es decir que si el valor de alguna variable en algún caso está faltando o está fuera de rango, el caso es omitido para todo el cálculo. El programa informa sobre el número de casos omitidos y sobre los restantes que es con el que realiza la discriminación a pasos.

Después calcula los valores medios, las desviaciones estándar y los coeficientes de variación para cada variable en cada grupo y para todos los grupos.

La desviación estándar dentro de grupos es:

$$\left\{ \frac{\sum (N_k - 1) S_k^2}{\sum (N_k - 1)} \right\}^{1/2}$$

donde  $S_k^2$  es la variancia y  $N_k$  es el tamaño de la muestra del grupo k-ésimo.

El paso cero es el que se realiza antes que cualquier variable sea introducida en la función discriminante.

El programa imprime el estadístico F de Fischer 'de entrada' para cada variable considerada. El estadístico fue obtenido a partir de un análisis de variancia univariado aplicado a las variables de los grupos usados en el análisis, permitiendo establecer el grado de semejanza o diferencia entre cada grupo para cada variable.

La variable con el mayor estadístico F de entrada en el paso cero es introducida en la función discriminante y ésta es la variable que mejor discrimina entre grupos.

En el paso uno se calcula lo siguiente:

1. El estadístico F de remoción para la variable que está en la ecuación.

El estadístico F de entrada para cada variable que no está dentro de la ecuación, esto es igual al estadístico F del análisis de variancia univariado sobre las variables residuales.

3. El estadístico U o lambda de Wilk.
4. El estadístico F aproximado (una transformación del lambda de Wilk).
5. La distancia D de Mahalanobis.
6. La matriz de F que contiene los valores de F calculados del estadístico D de Mahalanobis.
7. Las funciones de clasificación.

Las funciones de clasificación pueden usarse a posteriori para clasificar casos dentro de grupos; el caso es asignado al grupo cuya función de clasificación dé el mayor valor.

Esto se puede hacer de dos maneras:

1. Con un programa - un programa predictivo del fenómeno - que consiste en usar las funciones de clasificación para nuevos casos.

Con otro programa - un programa evaluador - que se encarga de clasificar los mismos casos de la muestra de la que fueron obtenidas las funciones (de esta manera se re-clasifica la muestra inicial).

Hay que calcular el puntaje de clasificación para cada grupo a partir de los coeficientes de la función discriminante (multiplicar los datos por los coeficientes y sumarle el término constante). El caso es clasificado dentro del grupo para el cual el puntaje de clasificación es el más alto.

Se puede también expresar el puntaje en probabilidades: sea  $\alpha$  el número de grupos y  $S_{ij}$  el puntaje de clasificación para el caso  $i$ -ésimo del grupo  $j$ -ésimo, luego la probabilidad posterior de que el caso  $i$  pertenezca al grupo  $j$  es

$$P_{ij} = \frac{e^{S_{ij}}}{\sum_{K=1}^K e^{S_{ij}}}$$

De esta manera se confeccionaron los programas predictores mencionados en el Capítulo 5.

En el último paso, además de los resultados impresos en cada etapa, el programa imprime:

1. La matriz de clasificación.
2. La matriz de clasificación refinada.
3. Tabla resumen: ésta contiene un resumen de una línea de cada paso incluyendo el estadístico F de entrada (o de remoción) para la variable introducida (o removida), el estadístico U o lambda de Wilk, el estadístico F aproximado y los grados de libertad.

El programa ADE resuelve otros aspectos que no fueron necesarios para el objetivo de este trabajo de tesis.

## APENDICE B

### CARACTERISTICAS DE ALGUNOS CASOS SEVEROS DE VIENTO ZONDA

Se analizaron las características de casos severos ocurridos en el Aeropuerto de El Plumerillo de la ciudad de Mendoza correspondientes al 6/8/80; 13/9/82; 4/7/83; 20/5/85 y 27/5/86. Solamente se mencionan en este texto aspectos parciales considerados relevantes de cada uno de estos casos.

#### B.1 ASPECTOS SINOPTICOS

La relación de los casos de Viento Zonda severos analizados con la escala sinóptica se indica en las Figs. B.1a, B.1b, B.1c y B.1d.

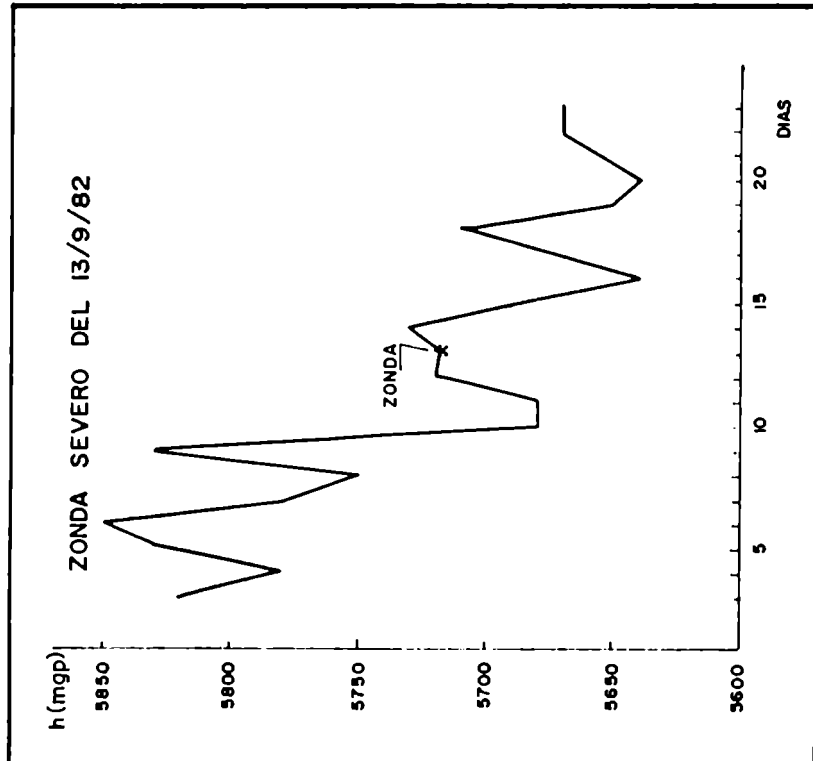
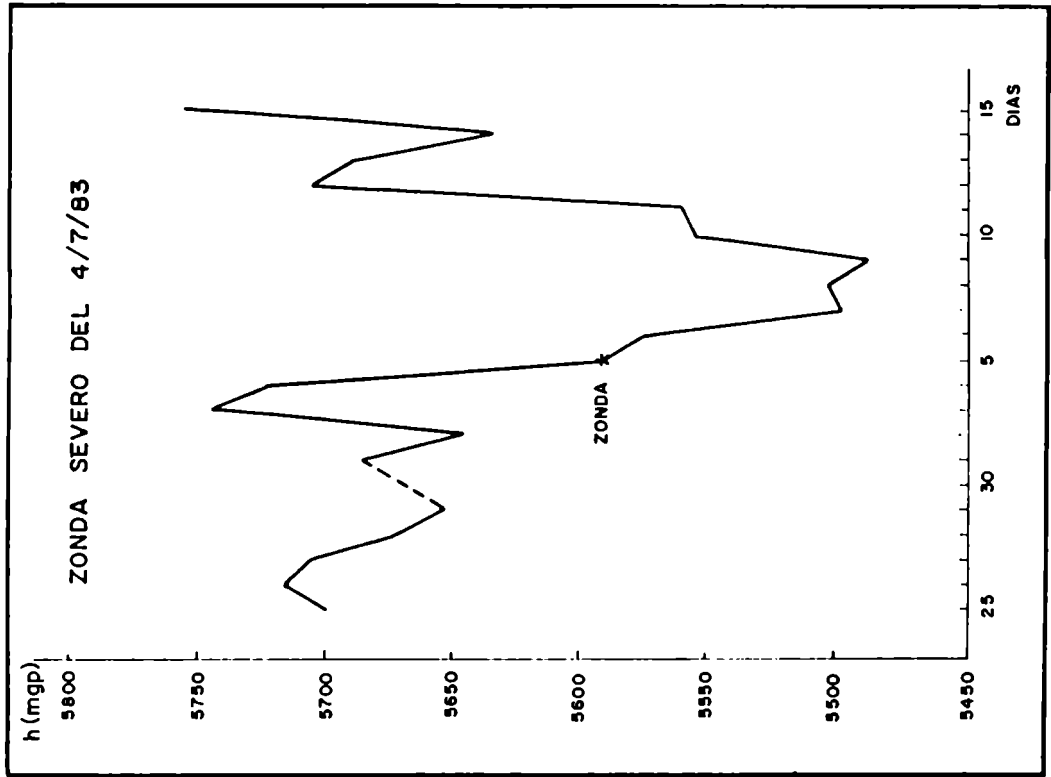
En todos ellos el viento se presenta en la ciudad de Mendoza, en general 3 o 4 días antes o junto con el pasaje del eje de una vaguada por la longitud del lugar.

Los casos del 13/9/82 (Fig. B.2), 5/7/83 (Fig. B.3) y 27/5/86 (Fig. B.4) son bien representativos de este tipo de situación. Sin embargo, el caso del 20/5/85 presenta características más atenuadas con una depresión menos profunda y ubicada más al norte (Golfo de San Jorge) y un frente frío asociado de menor extensión (Fig. B.5a) (ver nota al pie). En todos los casos se observa la presencia de un frente caliente ubicado en la región nordeste del país.

#### B.2 ANALISIS DE RADIOSONDEOS

Para este análisis se seleccionaron los radiosondeos obtenidos a ambos lados de la cordillera de Los Andes en el caso del 4/7/83. El Viento Zonda sopla entre las 23 HOA y las 7 HOA del 5/7/83. Las condiciones previas a la aparición del Viento Zonda en el llano mostraron las siguientes características de la distribución vertical de temperatura y humedad

**NOTA:** De acuerdo a los datos secuenciales de El Plumerillo este caso no se encuadraría dentro de los tipos severos porque la ráfaga máxima no superó los 20 nudos. Sin embargo la zona Oeste de la ciudad de Mendoza estuvo afectada por ráfagas más intensas y los daños fueron variados como lo confirma la información periodística (fig. B.5b).



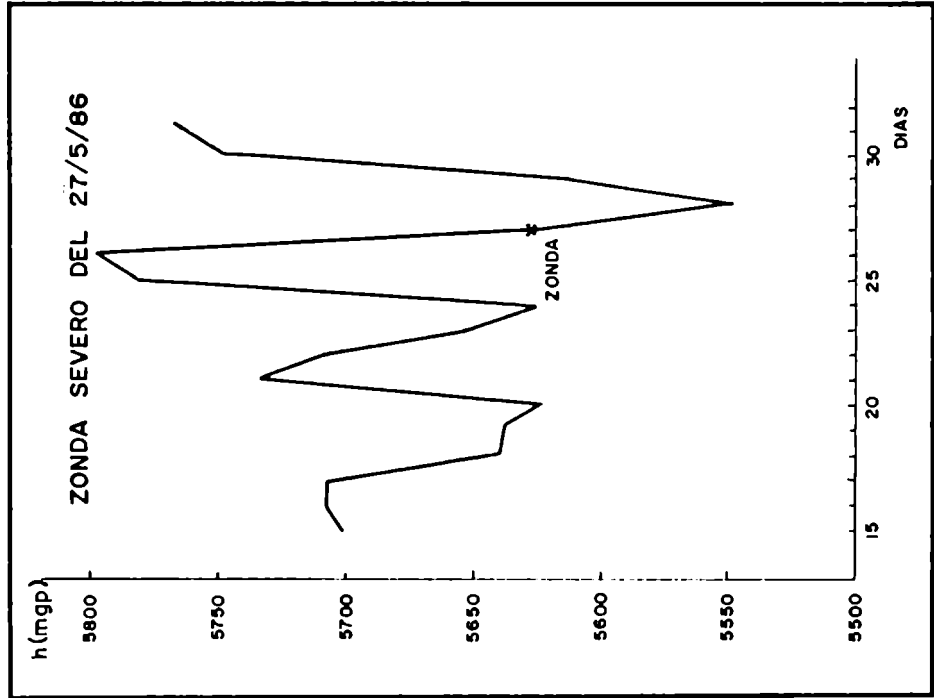


Fig. B.1d: 27 de Mayo de 1986.

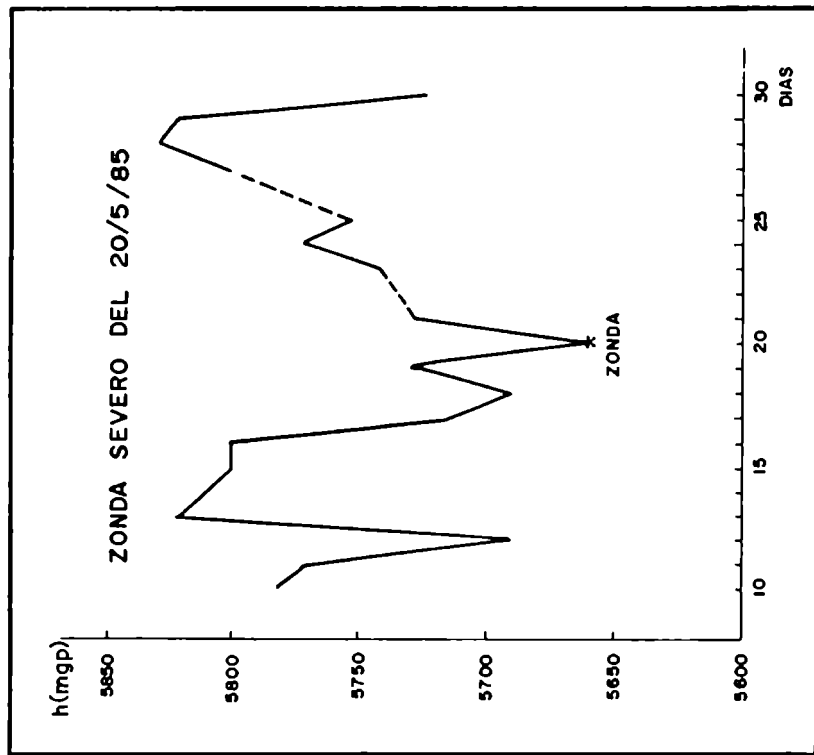


Fig. B.1c: 20 de Mayo de 1985.

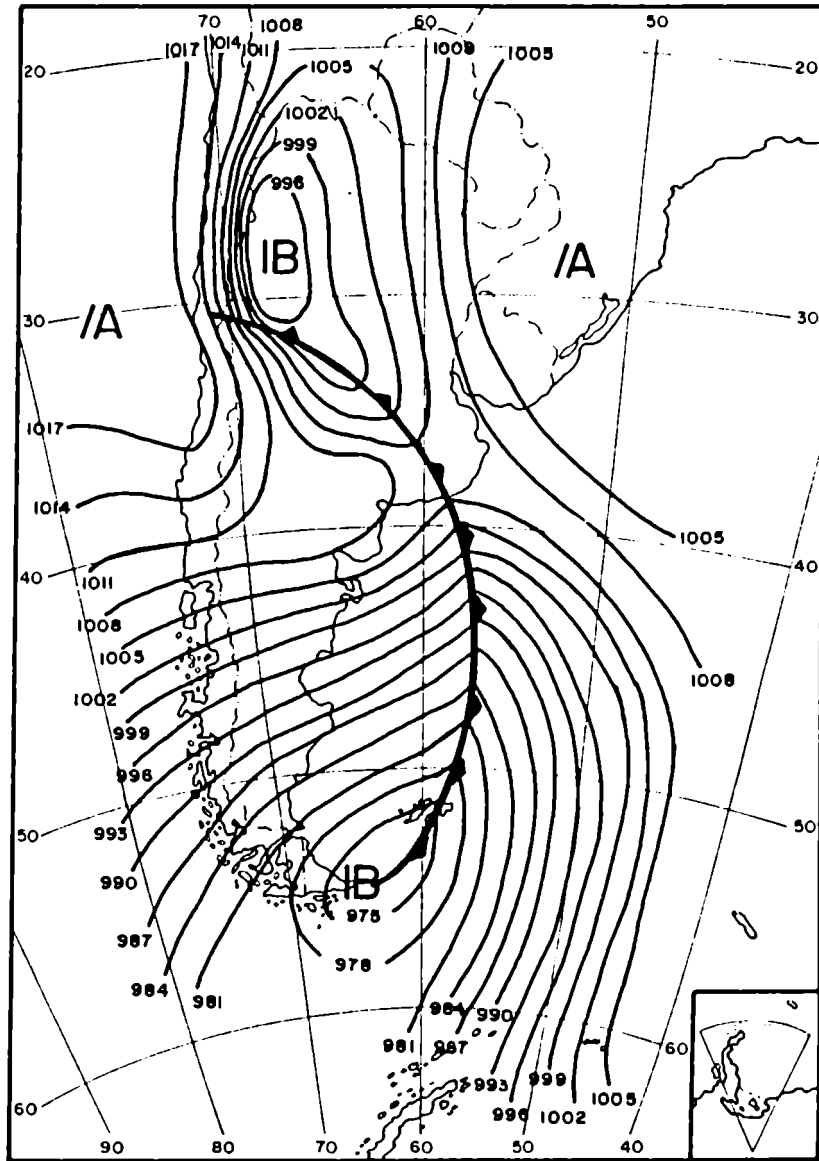


Fig. B.2: Carta de superficie del 13/9/82 a 12 UTC.

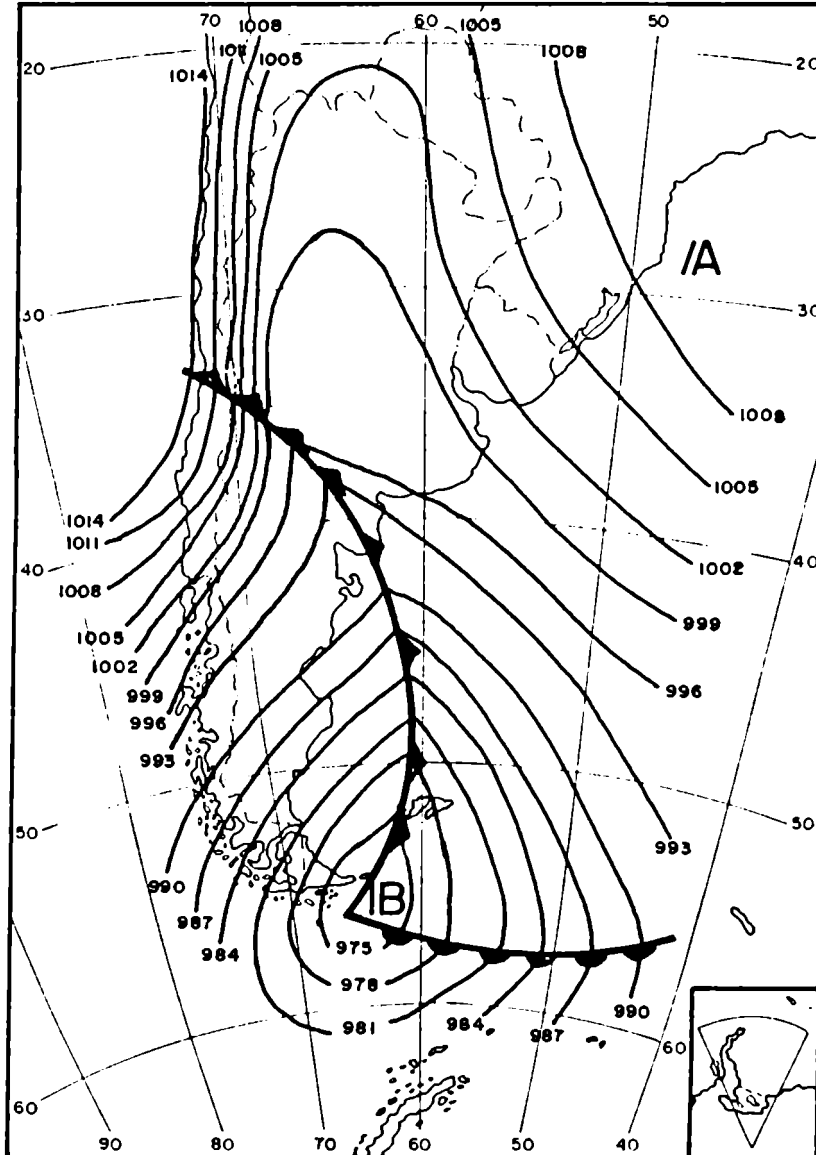


Fig. 8.3: Carta de superficie del 5/7/83 a 9 UTC.



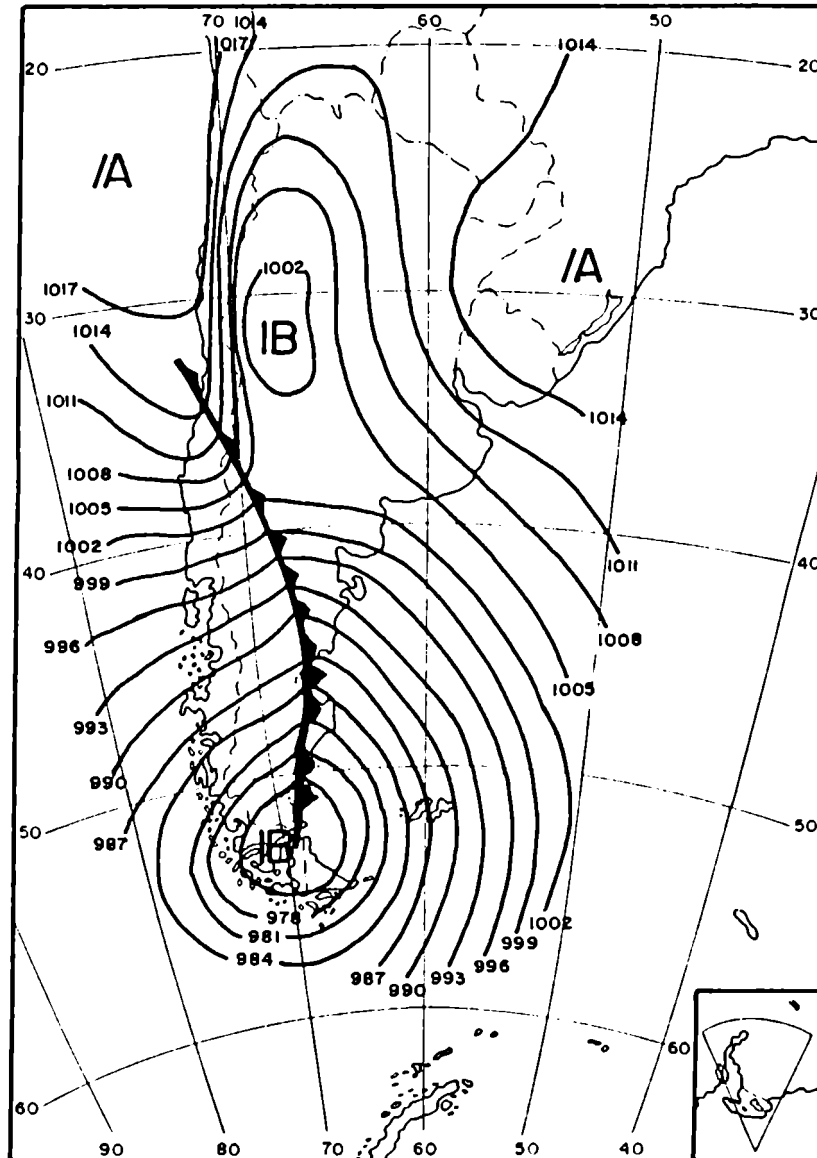


Fig. B.4: Carta de superficie del 26/5/86 a 18 UTC.

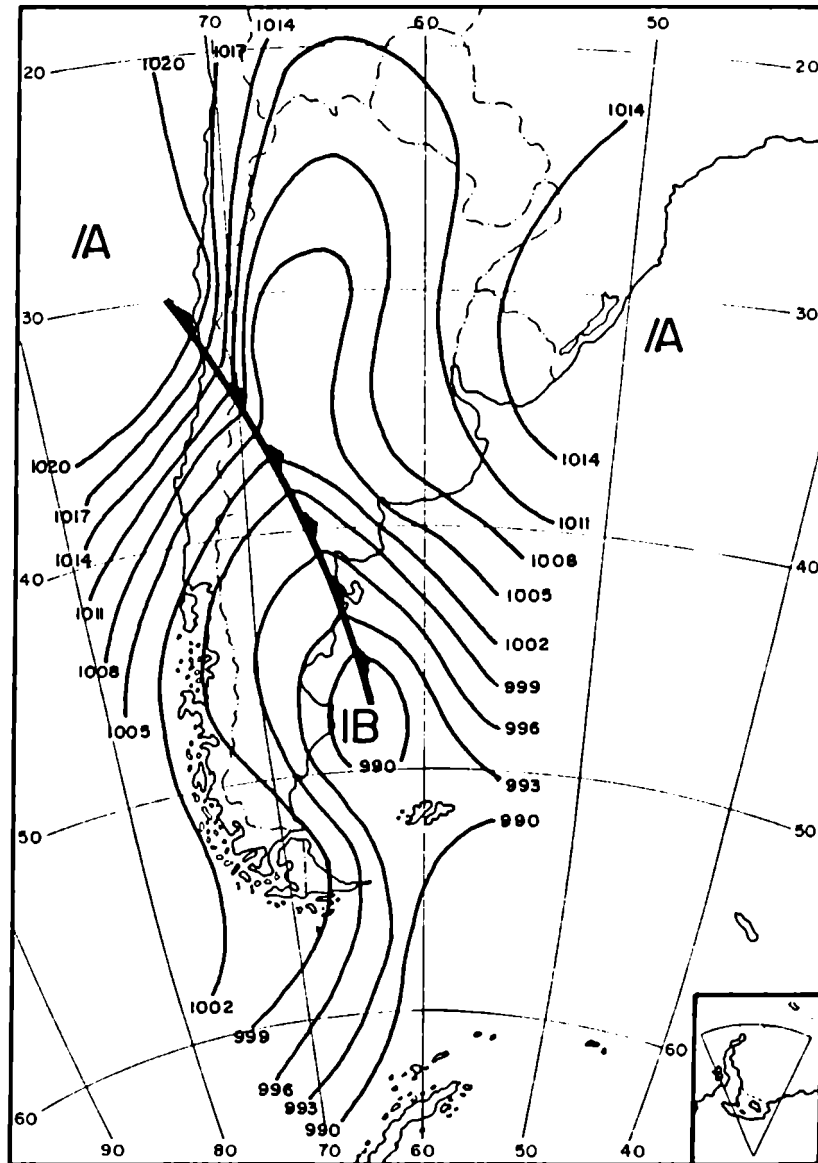


Fig. B.5a: Carta de superficie del 20/5/85 a 12 UTC.



Grandes árboles cedieron a los embates de las violentas ráfagas y fueron arrancados de cuajo. En Godoy Cruz (arriba), como en otros sectores del Gran Mendoza, hubo ejemplares que se desplomaron sobre el frente de las viviendas. En el Centro de la Capital (izquierda), el pavimento se cubrió de hojas y las nubes de polvo dificultaron la visibilidad a más de 70 metros, lo que originó inconvenientes en el tránsito

# Graves daños causó ayer el viento Zonda

## Damnificados por el sismo fueron los más afectados

Una tormenta de viento Zonda —que alcanzó ráfagas de hasta 110 kilómetros por hora— azotó ayer durante dos horas la zona del Gran Mendoza, Maipú y Luján. Setenta carpas sufrieron daños en un albergue de damnificados en Godoy Cruz; grandes árboles y ramas cayeron sobre

automóviles y viviendas, y se produjeron incendios de campos incultos. Las escenas más dramáticas se vivieron en los sectores de refugio para afectados por el sismo, donde una mujer resumió las consecuencias del fenómeno al afirmar: "Nos quedamos otra vez sin nada".

La naturaleza azotó nuevamente al Gran Mendoza con un violento viento Zonda que alcanzó una velocidad de 110 kilómetros por hora y elevó la temperatura de 5 grados a 22, en sólo una hora. La ciudad, desde las 8.30, quedó envuelta en amarillentas hojas otoñales y nubes de tierra que se desprendían de los montículos de escombros, tristes saldo del terremoto de enero último.

### SITUACION EN LA ALTA MONTAÑA

La mayoría de la población cumplió con sus tareas normales aunque las calles estaban desiertas, ya que caían cartones comerciales, árboles añosos o gruesas ramas secas, chapas de algunos techos, postes de energía eléctrica y hasta cables portadores del fluido eléctrico que chisporroteaban contra el asfalto.

El repentino calor en el valle contrastó con las noticias que llegaban de alta montaña, donde desde la madrugada había comenzado a nevar con un descenso de temperatura de hasta 5 grados bajo cero, a las 10 mientras se interrumpía el tránsito por la ruta internacional hacia Chile. La diferencia de temperatura, entre el valle y la zona de alta montaña, era a

medie mañana de 27 grados.

El fenómeno castigó sólo a la zona Norte de la provincia, Guaymallén, Godoy Cruz, Las Heras, Maipú y Luján de Cuyo, ya que el resto de los departamentos (al Este y Sur) tuvieron una temperatura normal para la época otoñal, con las típicas brisas de mayo.

Las escenas más dramáticas se vivieron en las zonas de albergues, donde habían (en carpas y módulos de madera y plástico) las familias damnificadas por el sismo del 26 de enero.

La violencia del viento destructivo por la velocidad de algunas ráfagas, atravesó con los inestables módulos de madera y plástico que habían construido algunas familias de damnificados para cobijarse, en forma transitoria, hasta que construyan sus viviendas. Las carpas que estaban bien armadas no sufrieron grandes inconvenientes. Volaron algunos sobretechos y, cuando los "vientos" no estaban lo suficientemente tirantes, los sobretechos se rajaban.

No obstante, la gente, ya sensibilizada por la pérdida de sus viviendas y sus seres esenciales, en la lógica desesperación de ver aillan, elementos de cocina, chapas, plásticos protectores, ramas

y cañas de lo quinchos, rodar por el suelo como papeles.

En el albergue instalado en el ex matadero de Godoy Cruz, algunas madres y niños pequeños fueron trasladados a la Colonia 20 de Julio (Dirección Provincial del Menor) para brindarse protección y alimentos, ya que en las carpas era imposible cocinar o prender fuego. Una medida previsora ante posibles incendios. Similar situación vivieron las familias que habitan en otros albergues.

Con lágrimas en los ojos algunas mujeres repetían con resignación: "Estamos otra vez sin nada". Una frase que encerró las consecuencias del Zonda porque los elementos que estaban adentro de las carpas también fueron destruidos. Lámparas, televisores, vasos, botellas y platos, que habían sido rescatados de entre los escombros del sismo, cayeron ante las ráfagas del Zonda.

Quizás lo más triste fue observar a los niños de 6 ó 7 años intentando sostener los plásticos que servían de techo o paredes para proteger a otros hermanos más pequeños y a sus madres. La desesperación de los damnificados que habitan en los albergues fue la compañía del Zonda.

Amplia inf. en págs. 5 y 12.

ecerán hoy  
oroneles

"Era sistemático el  
método de represión"

NA). Los coroneles Roberto Rual-Francisco Delessandri fueron el

relativa.

### B.2.1 A barlovento de la cordillera

La Fig. B.6 presenta una capa estable lindante con la superficie del mar, mas pequeña que la del sondeo medio de Julio 1983, asociada a una marcada inversión térmica. Entre superficie y 300 Hpa la tropósfera es mas caliente que el promedio. Hay aire frío en capas altas y aire casi saturado en capas medias (500/400 Hpa) indicando la proximidad de una perturbación.

### B.2.2 A sotavento de la cordillera

En la Fig. B.7 se observa aire estable y húmedo al ras del suelo. Presencia de Viento Zonda detectado mediante la depresión de punto de rocío, por encima de una intensa inversión adyacente al suelo, con máximo de temperatura en 850 Hpa. Una capa inestable mas espesa que la de barlovento y en niveles mas altos. El aire en general está mas cálido que el promedio y que a barlovento (efecto de subsidencia forzada).

A las 9 HOA del día siguiente, una vez finalizado el Zonda en El Plumerillo las condiciones a barlovento se modificaron. Ahora se observa que la inversión ha desaparecido, existe una capa muy extensa de aire húmedo y frío y hay gradientes de temperatura potencial equivalente  $\theta_e$  mas inestables (Fig. B.8).

En cambio en El Plumerillo, ese mismo día a la misma hora las condiciones se asemejan a las del día anterior (Fig. B.9).

Esto indica que si bien el frente frío está muy próximo o ya ha llegado a Quintero a las 12 UTC del día 5/7/83, no ha logrado alcanzar aún a El Plumerillo a esa hora.

Respecto a los sondeos de los restantes casos severos considerados, la evolución de temperatura y humedad a ambos lados de Los Andes antes y durante el desarrollo del fenómeno en el llano cuyano, presenta fases muy semejantes.

## B.3 DIAGNOSTICO ESPACIO-TEMPORAL DE MESOESCALA

### B.3.1 La variación de la presión

Se grafica (Fig. B.10) la variación de presión atmosférica de El Plumerillo y Pudahuel (Santiago de Chile) para los casos severos de los días 13/9/82; 5/7/83; 20/5/85 y 27/5/86 en las figuras B.10a, B.10b, B.10c y B.10d respectivamente.

En todos ellos se observa que la presión comienza a estar por debajo de la media mensual correspondiente, dentro de las 48 horas anteriores a la iniciación del viento en El Plumerillo. El valor mínimo se registra al comienzo o durante el desarrollo del Zonda severo.

El viento se inicia después que la presión ha descendido por debajo del valor crítico empírico de 1005 Hpa (925 Hpa a nivel de la estación) (ver 5.3).

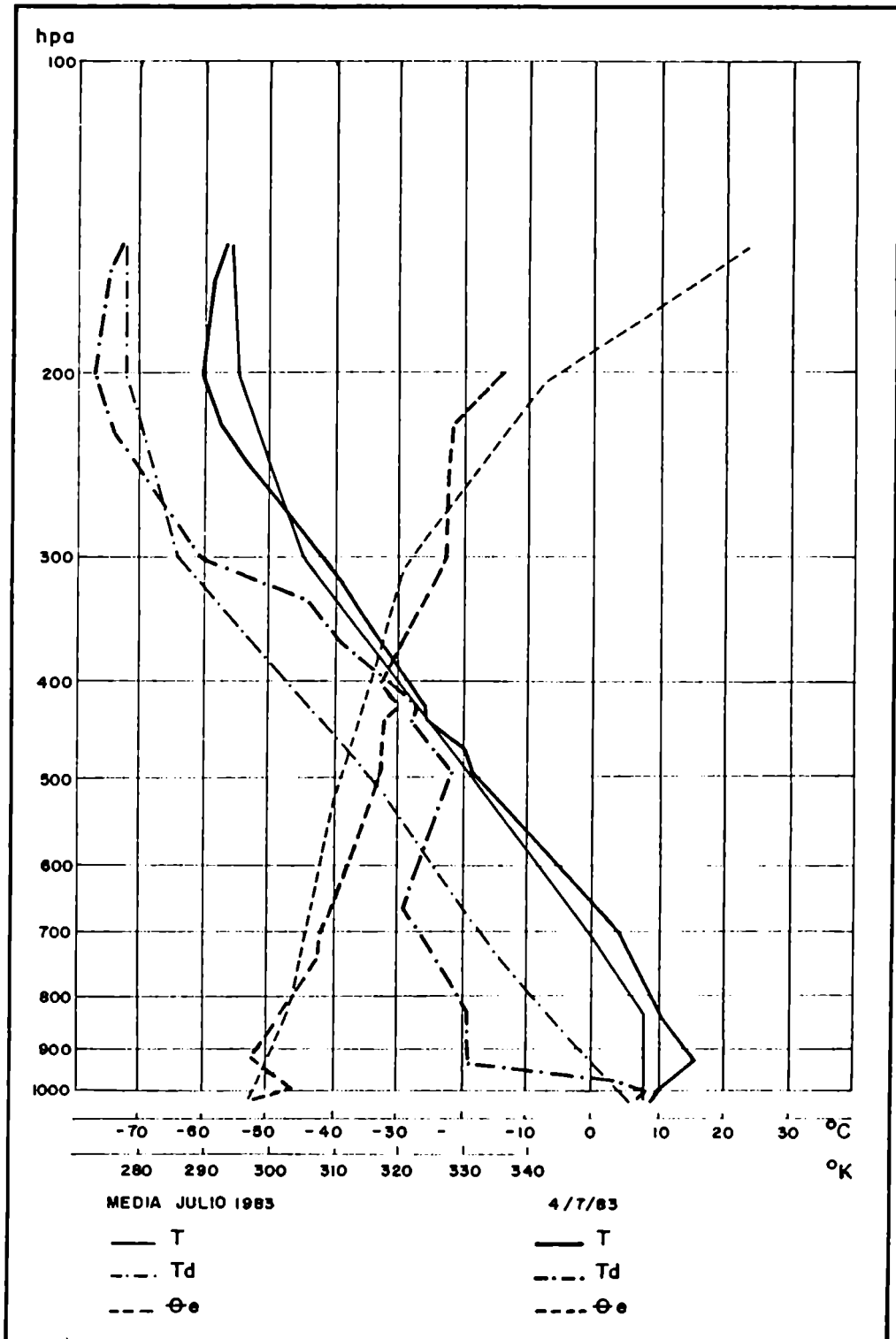


Fig. B.6: Radiosondeo del día 4/7/83 a 12 UTC en Quintero.

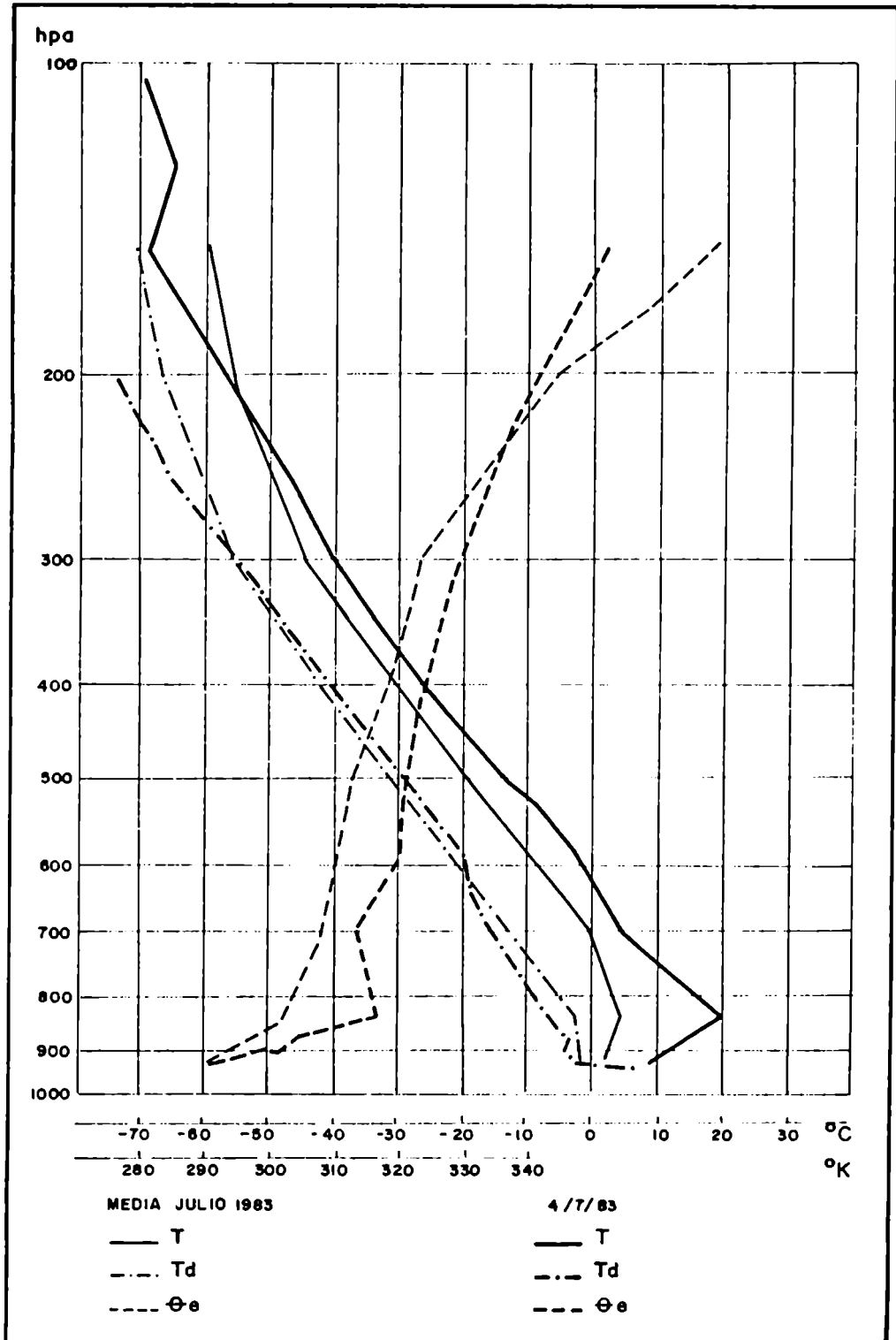


Fig. B.7: Radiosondeo del día 4/7/83 a 12 UTC en El Plumerillo.

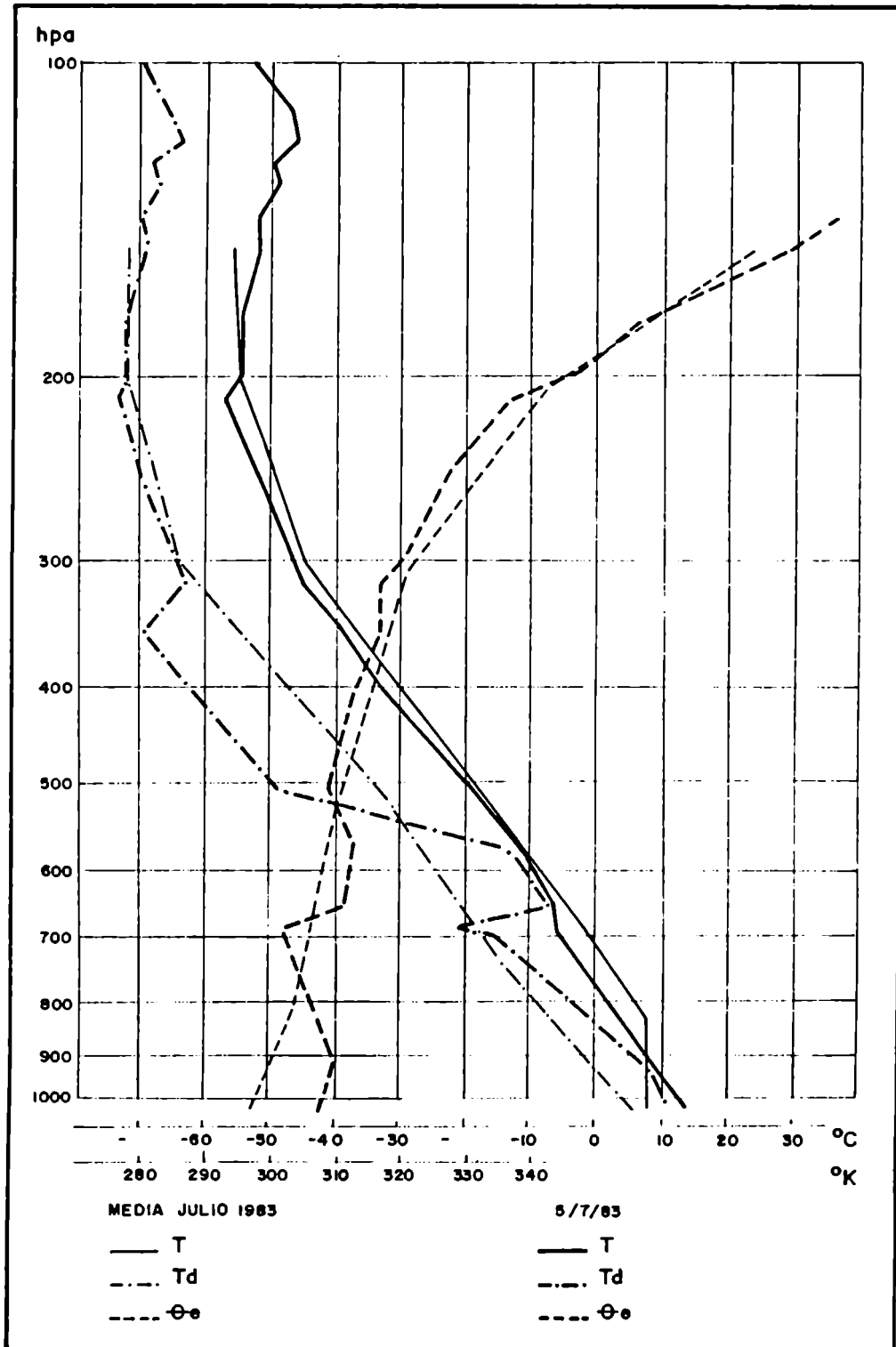


Fig. R.8: Radiosondeo del día 5/7/83 a 12 UTC de Quintero.

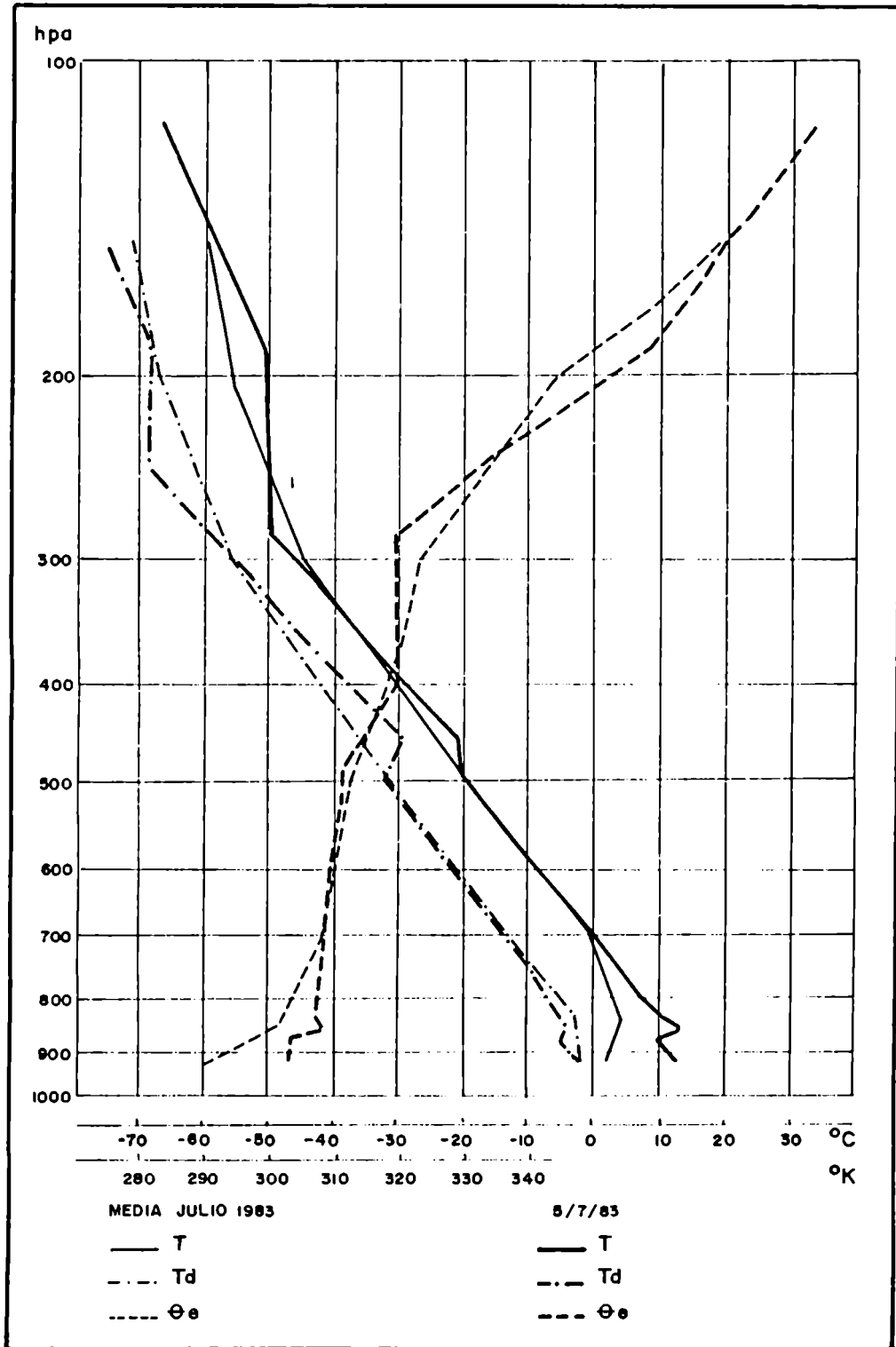


Fig. B.9: Radiosondeo del día 5/7/83 a 12 UTC de El Plumerillo.



Fig. B.10: Variación de la presión atmosférica en Mendoza (Aeropuerto El Plumerillo) y en Santiago de Chile (Aeropuerto Pudahuel) antes, durante y después de los casos severos de:

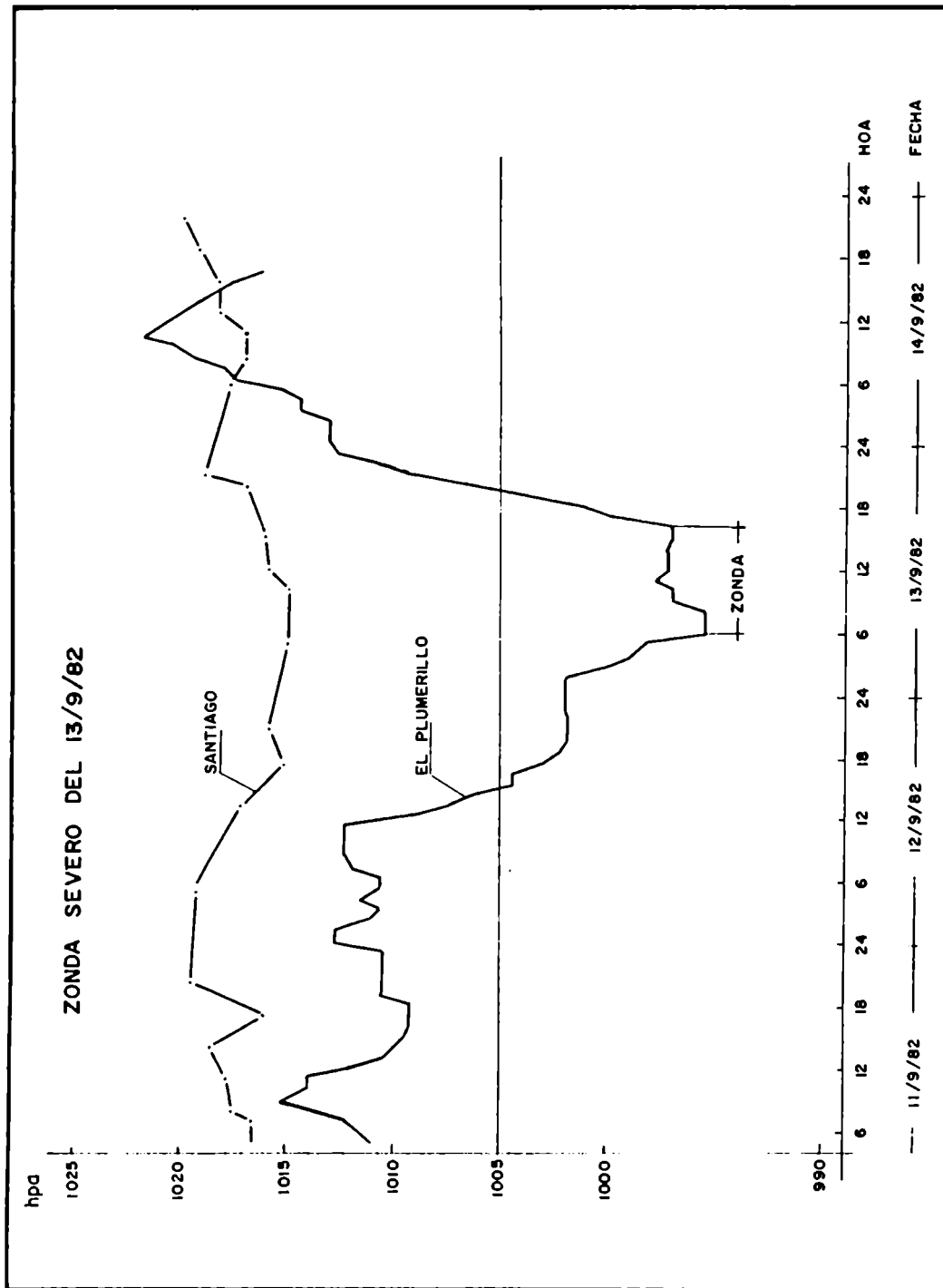


Fig. B.10a: 13 de Setiembre de 1982.

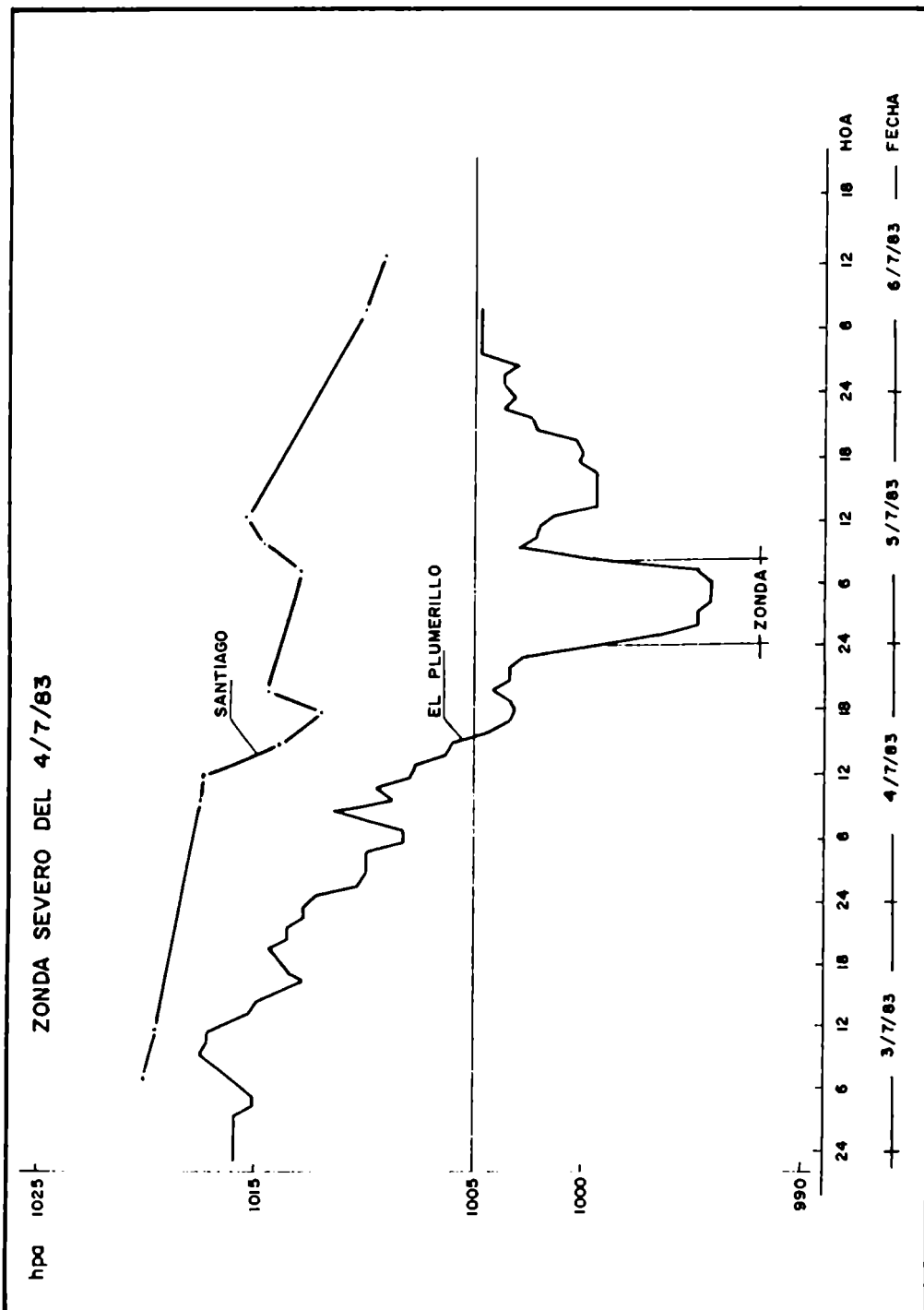


Fig. B.10b: 4 de Julio de 1983.

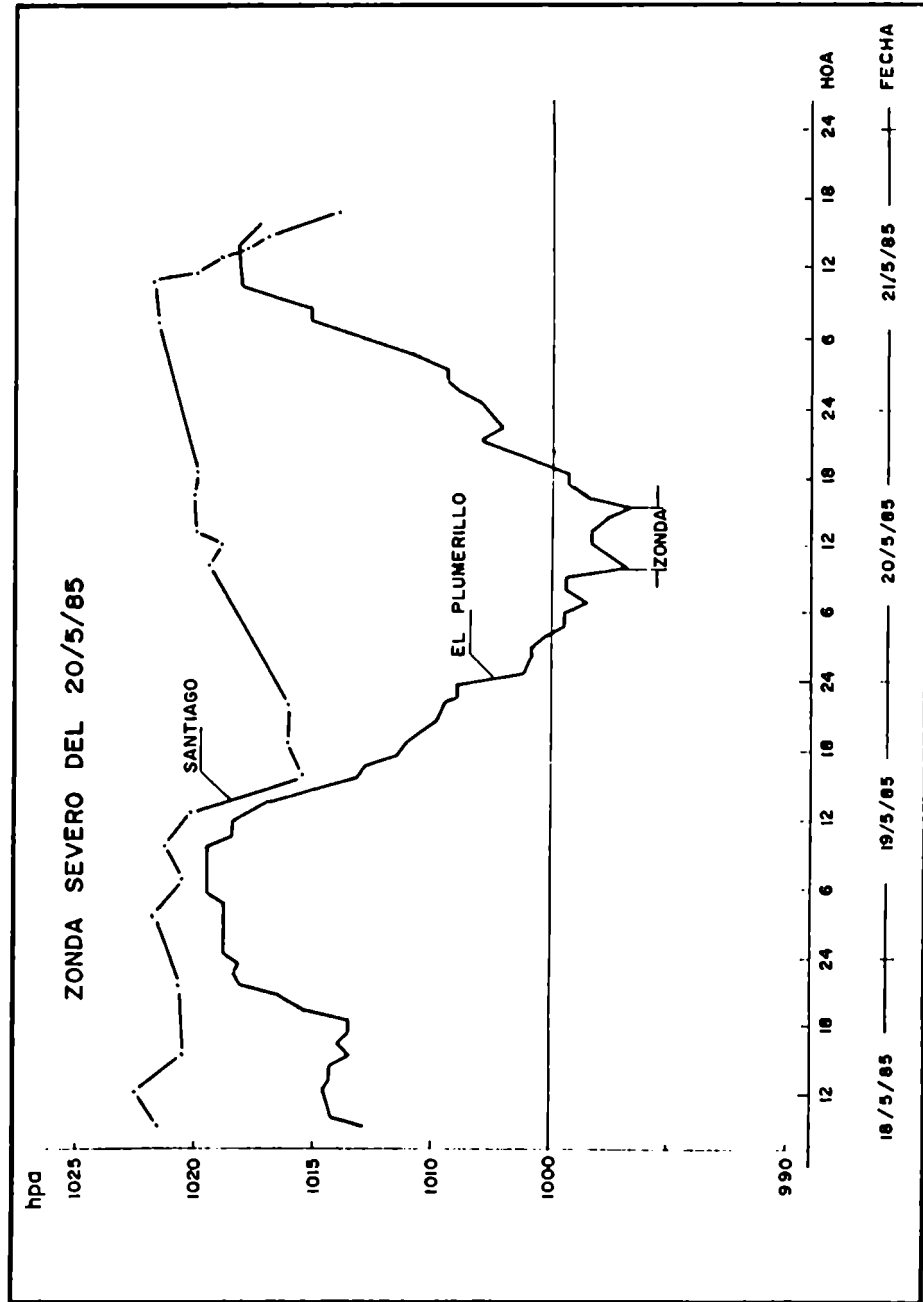


Fig. B.10c: 20 de Mayo de 1985.

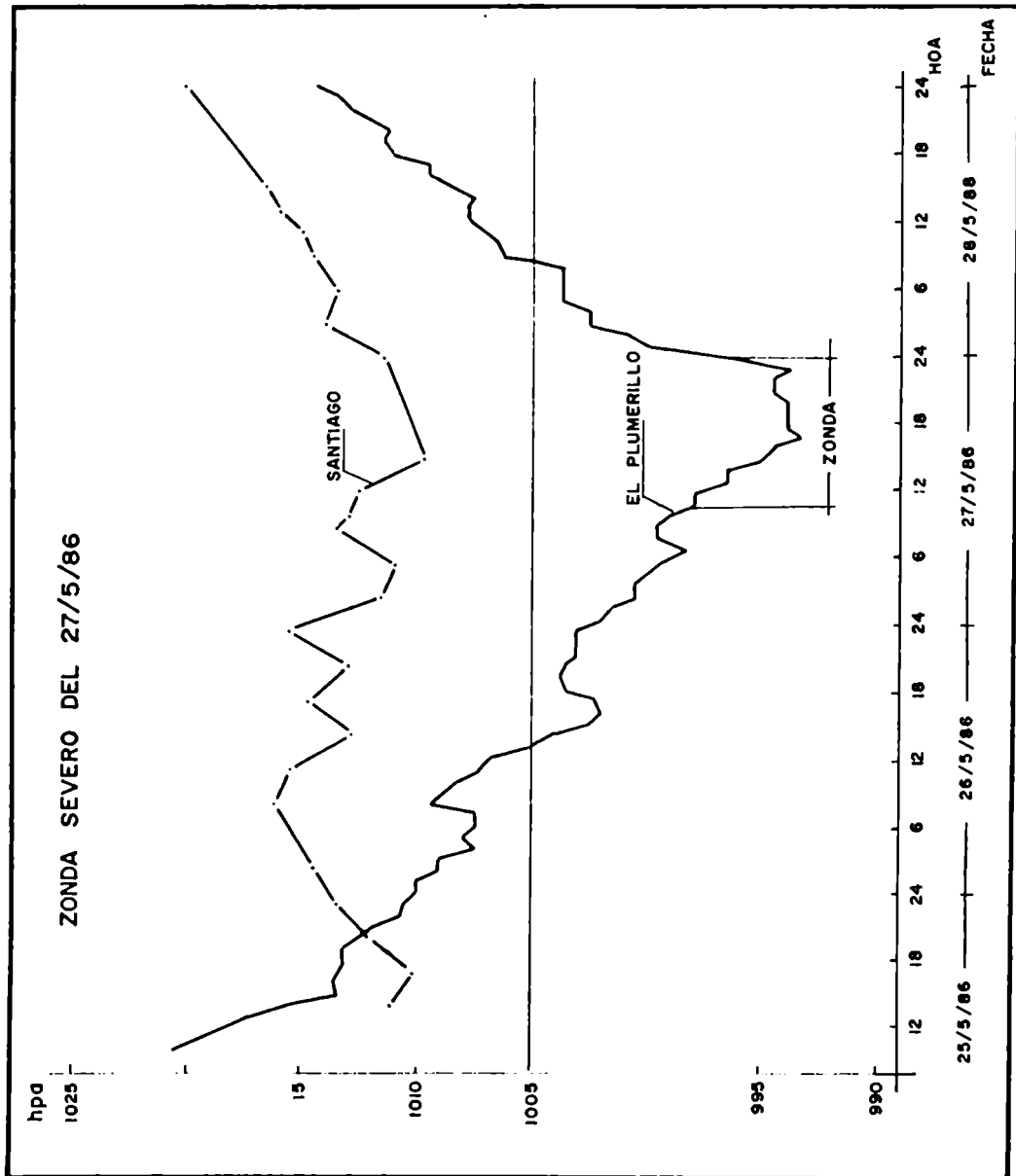


Fig. B.10d: 27 de Mayo de 1986.

Si bien los datos correspondientes a Pudahuel no son continuos se puede detectar un aumento significativo del gradiente horizontal de presión entre la capital chilena y Mendoza dentro de las 24 horas anteriores al fenómeno.

### B.3.2 Diagnóstico espacio-temporal de un caso severo en ciudades cuyanas mediante el análisis sinoptico secuencial

#### B.3.2.1 Secuencias horarias del caso del 27 de Mayo de 1986 -

Se seleccionó este caso por presentar características excepcionales en cuanto a intensidad, duración y extensión.

La figura B.11 permite ver que en la ciudad de San Juan la determinación del comienzo presenta un inconveniente que es frecuente en esta localidad. Existe un periodo de transición (de 13 HOA a 18 HOA del día 26) donde hay una irrupción en forma escalonada del aire originado en el Océano Pacífico (Viento Zonda) dentro del aire de origen atlántico (viento Norte o Noreste). Este último va perdiendo influencia hasta que la estación queda dominada definitivamente por el Zonda, entre las 18 y 19 HOA de ese día prolongándose hasta después de las 24 HOA del día 27 sin interrupción. La nubosidad lenticular esta presente desde la madrugada del día 26.

En la ciudad de Mendoza esa nubosidad y la de franja o pared del Zonda también se registra todo el día 26.

Aquí el comienzo es más claro observándose un periodo de efectos pulsantes entre las 9 HOA y las 10 HOA del día 27 en El Plumerillo. En la estación CRICYT el periodo de viento variable fue mucho menor iniciándose el Zonda casi una hora antes que en El Plumerillo (ver Nota al pie).

En esta oportunidad la ciudad de San Martín estuvo afectada por Zonda de características muy severas y durante varias horas.

La ciudad de San Luis presentó Viento Norte intenso desde la madrugada del día 26. El viento nor-noroeste entre las 13 HOA y las 18 HOA del 27 también podría ser Zonda que como excepción alcanzó a esta estación.

En San Rafael no se presenta Viento Zonda, tan solo un flujo moderado del Norte de 13 HOA a 20 HOA del día 27.

En la villa de Malargüe el Viento Zonda fue moderado, de corta duración entre las 8 HOA y las 11 HOA del día 26. El día 27 la zona estuvo dominada por precipitación de lluvia y nieve.

NOTA : Una característica significativa de este caso considerado como 'muy severo' es la prolongada duración del viento y la persistencia de ráfagas de tipo huracanado en la ciudad de Mendoza. Además el cielo se mantuvo casi totalmente cubierto registrándose inclusive alguna actividad eléctrica antes de su finalización seguido inmediatamente por lluvia.

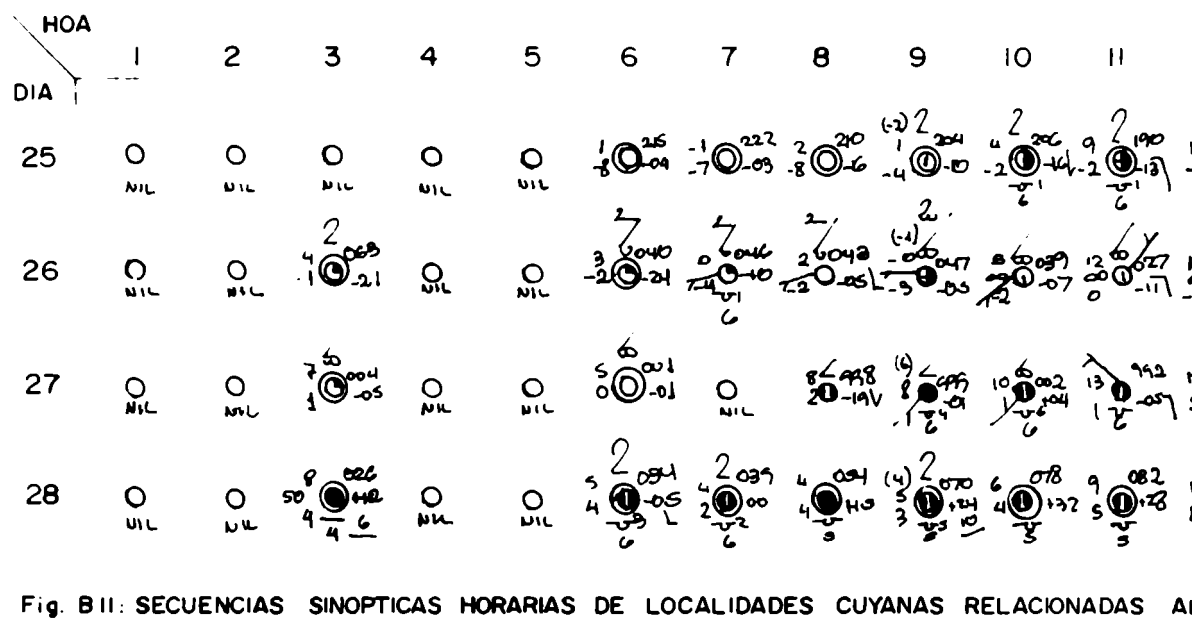
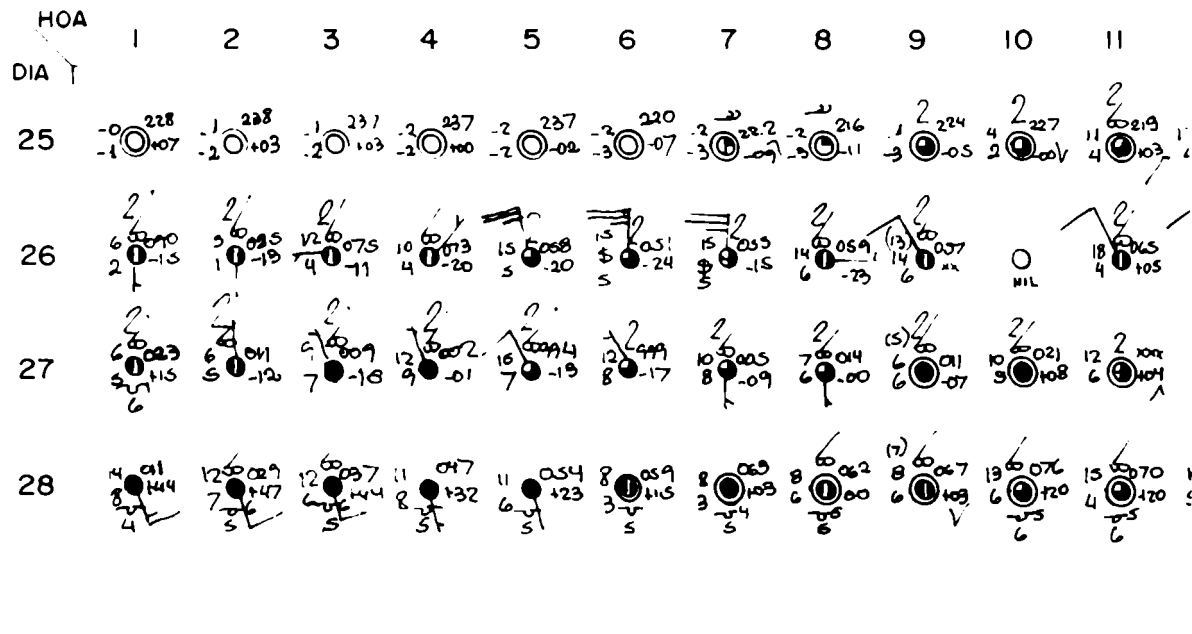
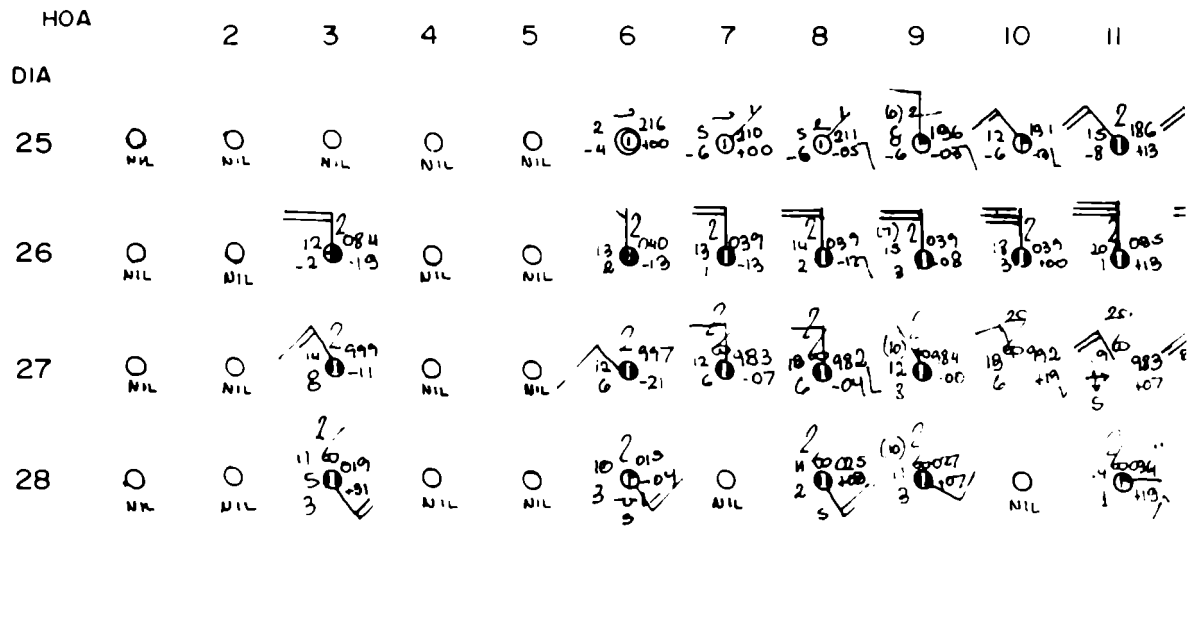
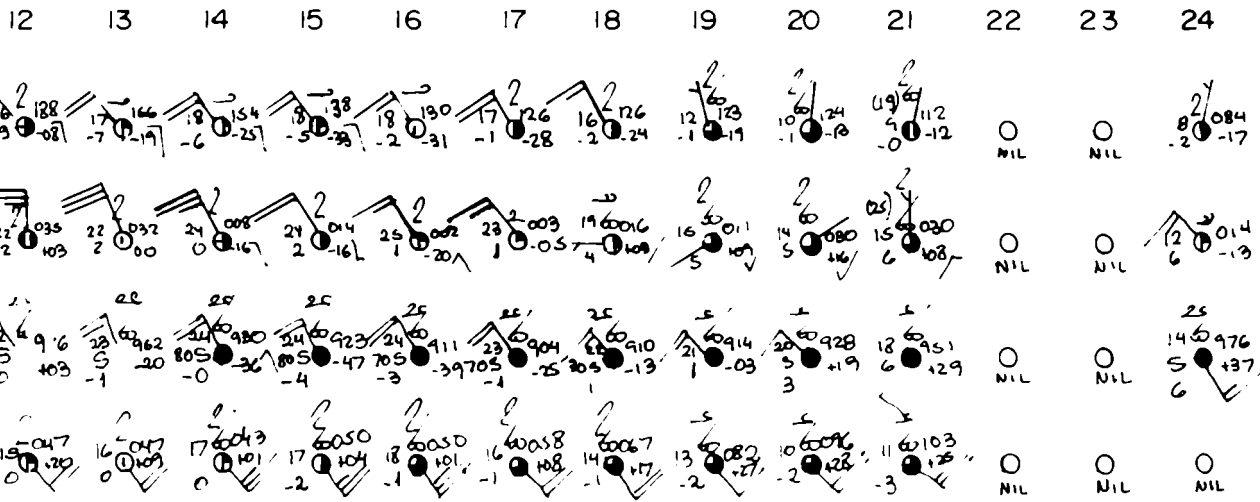
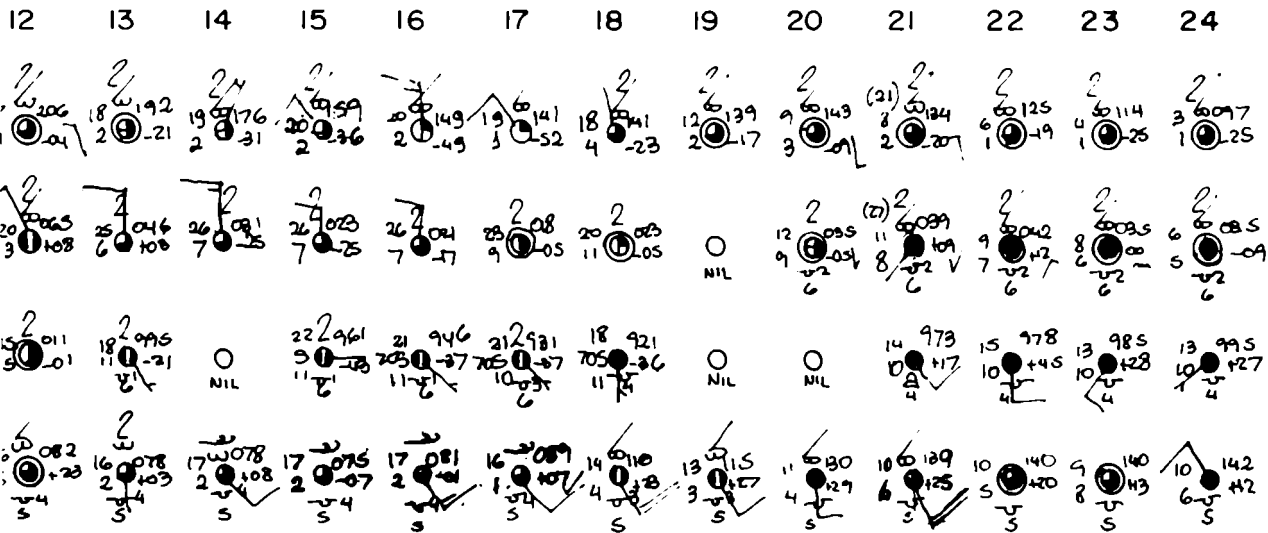


Fig. BII: SECUENCIAS SINOPTICAS HORARIAS DE LOCALIDADES CUYANAS RELACIONADAS AL

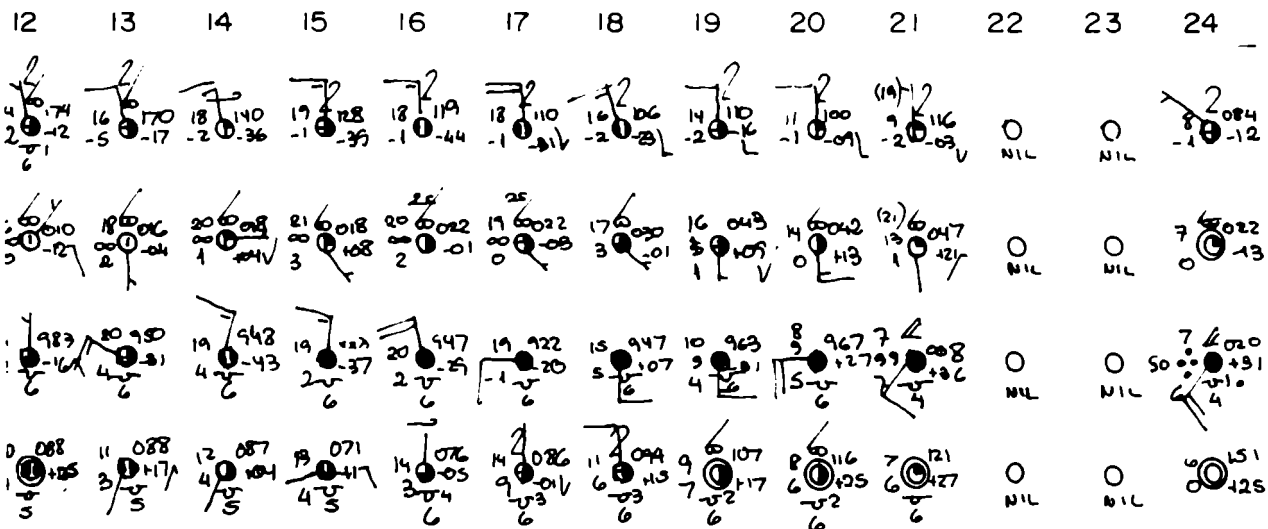
# SAN LUIS



# VILLA MERCEDES



# SAN RAFAEL



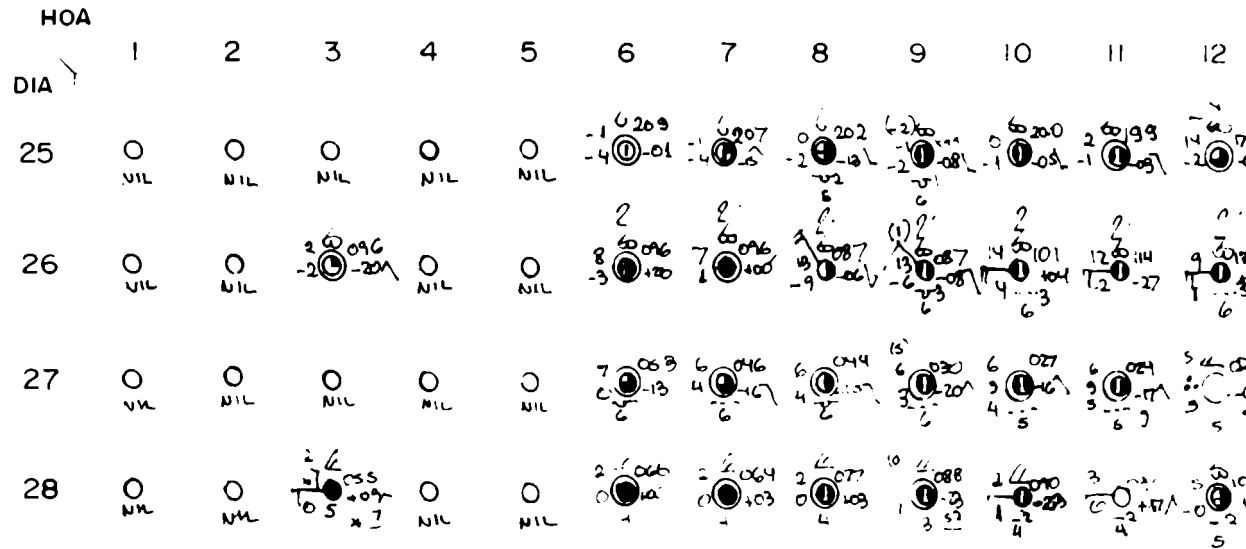
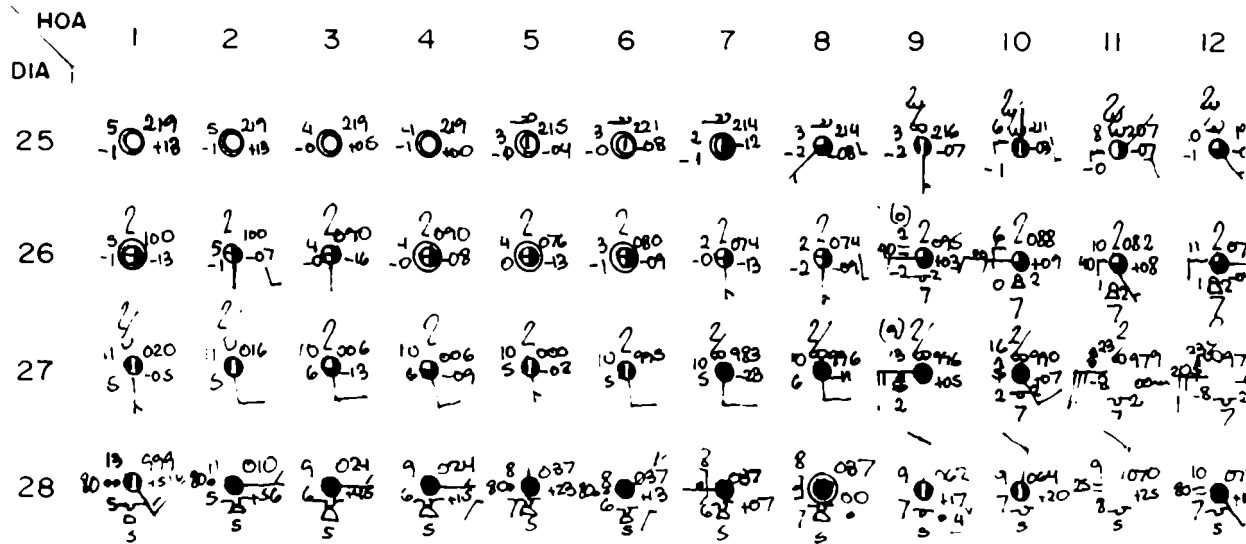
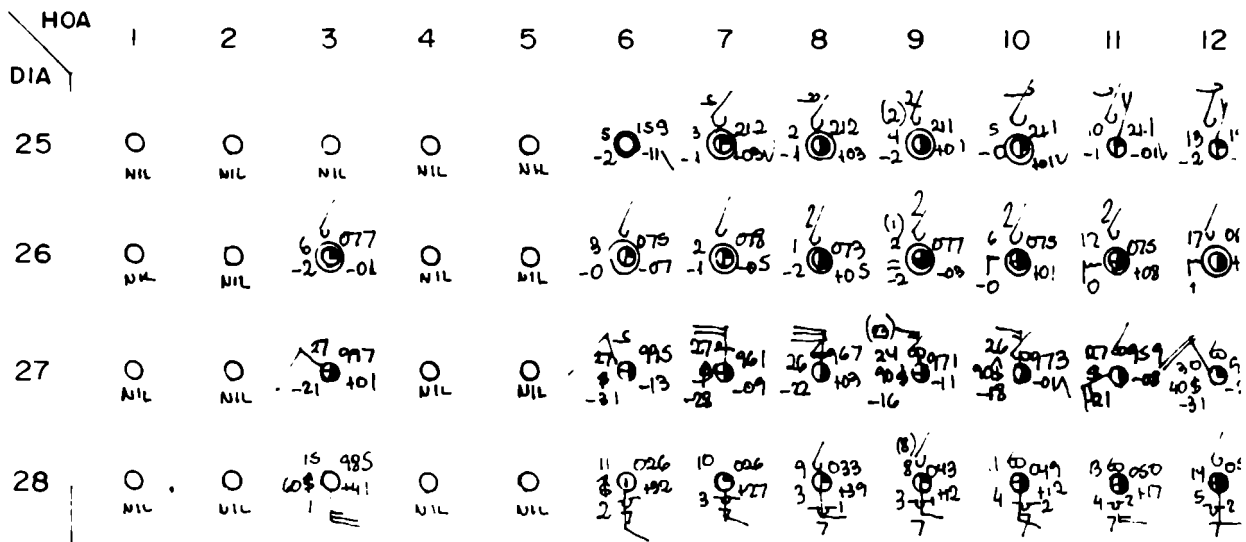


Fig. BII. SECUENCIAS SINOPTICAS HORARIAS DE LOCALIDADES CUYANAS RELACIONADAS AL CA



# SAN JUAN

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
									NIL	NIL	
									NIL	NIL	
									NIL	NIL	
									NIL	NIL	

# EL PLUMERILLO

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

# MALARGÜE

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
									NIL	NIL	NIL
									NIL	NIL	NIL
									NIL	NIL	NIL
									NIL	NIL	NIL

### B.3.2.2 Resultados del análisis secuencial -

A partir del análisis del caso del 27/5/86 y de las secuencias horarias de otros casos severos (13/9/82; 4/7/83; 20/5/85) que no se ilustran en este Apéndice, se obtienen los siguientes resultados:

1. En todos los casos severos analizados el Viento Zonda estuvo también presente en la ciudad de San Juan siendo siempre su duración superior a la de Mendoza.
2. Hay una cierta correlación positiva en cuanto a la extensión espacio-temporal del fenómeno. Los casos más prolongados en Mendoza (13/9/82 y 27/5/86) se corresponden con aquellos en que el Zonda es detectado en estaciones del Este del área cuyana.
3. El período favorable a la iniciación del Zonda severo en Mendoza está comprendido entre algunas horas después de la puesta del sol y horas próximas anteriores o posteriores a su salida (ver Tabla B.1), en concordancia con lo analizado en el Capítulo 2.
4. El incremento del gradiente horizontal de presión entre la DNOA y el anticiclón subtropical del Océano Atlántico determina la intensificación del flujo del viento norte en el centro del país. En la ciudad de San Luis esto se manifiesta claramente con el aumento significativo de la velocidad del Viento Norte hasta 48 horas antes de la aparición del Viento Zonda severo en Mendoza.
5. En la ciudad de San Rafael no se detecta ningún indicio de Viento Zonda que sea relevante y que se relacione con lo que sucede en El Plumerillo.
6. En la villa de Malarsde se registra temporal de lluvia y nieve en todos los casos severos, precedidos por Viento Zonda en los días anteriores.
7. En todos los casos la nubosidad media, notablemente altocumulus del tipo lenticular y altoestratos, se observa desde dos días antes de la ocurrencia del fenómeno. En particular durante su desarrollo, esta nubosidad orográfica suele avanzar sobre el llano cubriendo totalmente el cielo, en la ciudad de Mendoza.
8. No se detecta viento rotor prolongado ni bien definido en ningún caso.

TABLA B.1 COMIENZO, DURACION, FINALIZACION, VARIACIONES HIGROTÉRMICAS, LÍMITES, DURACION DEL ZONDA PULSANTE Y CONTINUO, PARA ESTACIONES DE MONTAÑA Y LLANO DE LOS CASOS SEVEROS.

TABLA B.1a ZONDA SEVERO DEL 13/9/82

ESTACION	FECHA	COMIENZO			FECHA	HORA	FINAL		DURACION PULSANTE	DURACION CONTINUO
		HORA	$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h			$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h		
VALLECITOS	11/9/82	19:00	+2	-40%	13/9/82	05:00	-5	+28%	NO HAY	34:00
REYNOSO	12/9/82	00:00	+2	-28%	13/9/82	16:00	-6	+24%	NO HAY	30:00
LA AGUADITA	12/9/82	22:10	+6.5	-12%	13/9/82	05:00	-2	+10%		
SAN JOSE	13/9/83	03:30	+7	-14%	---	---	--	----	NO HAY	INCOMPLETO
CRICYT	13/9/82	05:30	+10	-36%	13/9/82	17:00	-4	+20%	NO HAY	12:30
EL MANZANO	12/9/82	01:00	+1	-27%	13/9/82	02:00	-3	+8%	07:00	18:00
EL YAUCHA	11/9/82	22:00	+3	-35%	13/9/82	13:00	-5	+28%	08:00	29:00
ENCON	13/9/82	08:00	+13	-25%	13/9/82	17:00	-13.5	+45%	NO HAY	09:00
NACUNAN	Calentamiento sin secamiento significativo provocado por viento norte (de 03:00 a 10:00 del 13/9/82)									
SAN MARTIN	13/9/82	11:00	+6.5	-45%	13/9/82	13:00	-11	+50%	NO HAY	02:00

TABLA B.1b ZONDA SEVERO DEL 04/07/83

ESTACION	FECHA	COMIENZO			FECHA	HORA	FINAL		DURACION PULSANTE	DURACION CONTINUO
		HORA	$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h			$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h		
VALLECITOS	03/7/83	11:00	+2	-10%	4/7/83	05:00	-1	+10%	03:00	08:00
REYNOSO	3/7/83	22:00	+4	-15%	4/7/83	21:00	-1	+10%	NO HAY	23:00
SAN JOSE	4/7/83	08:30	+18	-30%	5/7/83	06:00	-0.5	+5%	NO HAY	22:00
CRICYT	4/7/83	22:30	+14	-53%	5/7/83	07:00	-5	+18%	NO HAY	08:30
EL YAUCHA	4/7/83	02:00	+5	-25%	5/7/83	02:00	-3	+10%	NO HAY	24:00
ENCON	NO EXISTE EFECTO ZONDA NI VIENTO ZONDA EN ESTA ESTACION									
NACUNAN	SIN DATOS									
SAN MARTIN	SOLO HAY UN LEVE EFECTO ZONDA ALREDEDOR DE LA HORA 1 HOA DEL 5/7/83									

TABLA B.1c ZONDA SEVERO DEL 20/5/85

ESTACION	FECHA	COMIENZO			FECHA	HORA	FINAL		DURACION PULSANTE	DURACION CONTINUO
		HORA	$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h			$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h		
VALLECITOS	19/5/85	07:00	+2.5	-14%	20/5/85	06:00	-3.5	+20%	NO HAY	23:00
REYNOSO	19/5/85	18:00	+6	-30%	20/5/85	04:00	-4	+16%	NO HAY	10:00
LA AGUADITA	SIN DATOS									
SAN JOSE	20/5/85	06:00			20/5/85	10:00				
CRICYT	20/5/85	08:00	+22	-40%	20/5/85	13:30	-3	+14%	NO HAY	05:30
EL MANZANO	20/5/85	01:00	+6	-25%	20/5/85	05:00	-3.5	+15%	NO HAY	04:00
EL YAUCHA	SIN DATOS									
ENCON	NO PRESENTA EFECTO ZONDA NI VIENTO ZONDA DEFINIDOS									
EL RETAMO	NO PRESENTA EFECTO ZONDA NI VIENTO ZONDA DEFINIDOS									
NACUNAN	EFECTO ZONDA ALREDEDOR DE LAS 16:00 HOA									

TABLA B.1d ZONDA SEVERO DEL 27/5/86

ESTACION	FECHA	COMIENZO			FECHA	HORA	FINAL			DURACION PULSANTE	DURACION CONTINUO
		HORA	$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h			$\Delta$ TC en 1h	$\Delta$ HZ en 1h			
VALLECITOS	24/5/86	19:00	+2	-22%	27/5/86	05:00	-3	+12%	NO HAY	58:00	
REYNOSO	26/5/86	01:00	+6	-15%	27/5/86	07:00	-2	+5%	NO HAY	30:00	
LA AGUADITA	SIN DATO										
SAN JOSE	26/5/86	14:00	+14	-30%	27/5/86	03:00	-6	+15		13:00	
SAN JOSE	27/5/86	07:00	+8	-10%	27/5/86	21:00	-2			14:00	
CRICYT	27/5/86	09:15	+8	-42%	27/5/86	24:00	-7	+30	NO HAY	14:45	
EL YAUCHA	SIN DATOS										
ENCON	27/5/86	08:00	+13.5	-67%	28/5/86	01:00	-9	+55%	+01:00	16:00	
SAN MARTIN											

### B.3.3 Diagnóstico espacio-temporal en transectas latitudinales

De igual manera que en el caso del 23/8/83 (ver 3.6.2) se utilizó el método indirecto del Zonda histórico para caracterizar el comportamiento del fenómeno en los casos severos. También fue analizada la variación térmica.

En las Tablas B.1 se indican las horas de comienzo y finalización, la variación térmica e histórica, la existencia o no de periodos con Zonda pulsante, su duración y la del Zonda continuo, para estaciones de montaña y llano de las tormentas severas del 13/9/82; 4/7/83; 20/5/85 y 27/5/86 (tablas B.1a, B.1b, B.1c y B.1d respectivamente).

El criterio utilizado para establecer las variaciones térmicas e históricas indicadoras de comienzo y finalización del Zonda fue considerando la hora siguiente en el comienzo y la hora anterior en la finalización.

En la estación CRICYT la variación térmica de iniciación mas notable corresponde al caso del 20/5/85 y la histórica al del 4/7/83 (+22°C en una hora y -53% en una hora respectivamente). El Viento Zonda mas prolongado correspondió al caso del 27/5/86 (14 horas y 45 minutos de duración).

La hora de iniciación del fenómeno en CRICYT es en todos los casos posterior a la hora de finalización del viento en la estación Vallecitos.

Esta estación y la de Puesto Reynoso son las que presentan mayor duración del fenómeno.

El análisis de las transectas latitudinales permitió hallar las siguientes características comunes en los casos severos considerados:

- a) El Viento Zonda se hace presente en la ladera oriental del Cordón del Plata (Vallecitos y Puesto Reynoso) mucho antes que en las otras estaciones finalizando en ellas generalmente también antes que en el llano.
- b) En la mayoría de las estaciones no hay un periodo de efectos pulsantes. A lo sumo se presenta en forma esporádica en algunas y al comienzo del evento.
- c) La duración es mayor en la precordillera decreciendo en sentido Oeste-Este. En el llano este decrecimiento en cantidad de horas también lo es en sentido Norte-Sur.

d) La variación térmica es mas significativa en el llano que en la cordillera.

e) En cambio el secamiento que permite la identificación de Zonda sin datos de anemógrafo, no presenta diferencias espaciales notándose claramente en todas las estaciones consideradas.

f) La existencia de Zonda en las estaciones del llano mas alejadas del piedemonte (San Martin, La Paz, Nacuñan, Encón) se corresponde con los casos mas prolongados en Mendoza (Ejemplo 13/9/82 y 27/5/86).

g) Las características mencionadas en los puntos anteriores son mas notorias para el caso del 27/5/86 calificado como muy severo.

h) Estas observaciones permiten establecer que el aire descendente va cayendo en forma de catarata o cascada por las laderas orientales de la cordillera hasta llegar al llano.

### B.3.3.1 La distribución vertical del viento -

Se realizó un análisis semejante al efectuado para el caso del 23/8/83 del Capítulo 3.

En la mayoría de los casos severos los datos de radiosondeos de El Plumerillo son deficientes o estan ausentes, debido a que a las 9 HOA el viento ya está soplando en superficie determinando serios inconvenientes para el lanzamiento del globo sonda. Por lo tanto se elidió un caso que no presentara problemas en cuanto a la información disponible como el evento muy severo del 6/8/80. En esta ocasión el viento apareció sobre El Plumerillo recién en horas de la tarde.

El perfil vertical del viento a barlovento de la cordillera correspondiente al día 6 de Agosto de 1980 (Fig. B.12) indica que la componente zonal  $u$  supera al valor medio mensual (ver figura 3.36) en todos los niveles, notándose un incremento continuo al menos hasta los 8000 m.s.n.m.. La componente del norte  $v$ , con valores superiores a la media hasta ese nivel, presenta una distribución inversa a los promedios del mes.

A sotavento de la cordillera, los valores de  $u$ ,  $v$  y  $V$  superan a la media y a los valores del caso moderado del 23/8/83, a partir de 5000 m.s.n.m. hacia arriba (figura B.13) lo que indicaría que en el caso muy severo la corriente en chorro o está más cerca o es más intensa que en el caso moderado (figura 3.35).

El Viento Zonda está soplando muy cerca de la superficie, a unos 300 metros por encima de la estación El Plumerillo, hecho que no sucede debido al rotor en el caso típico del 23/8/83.

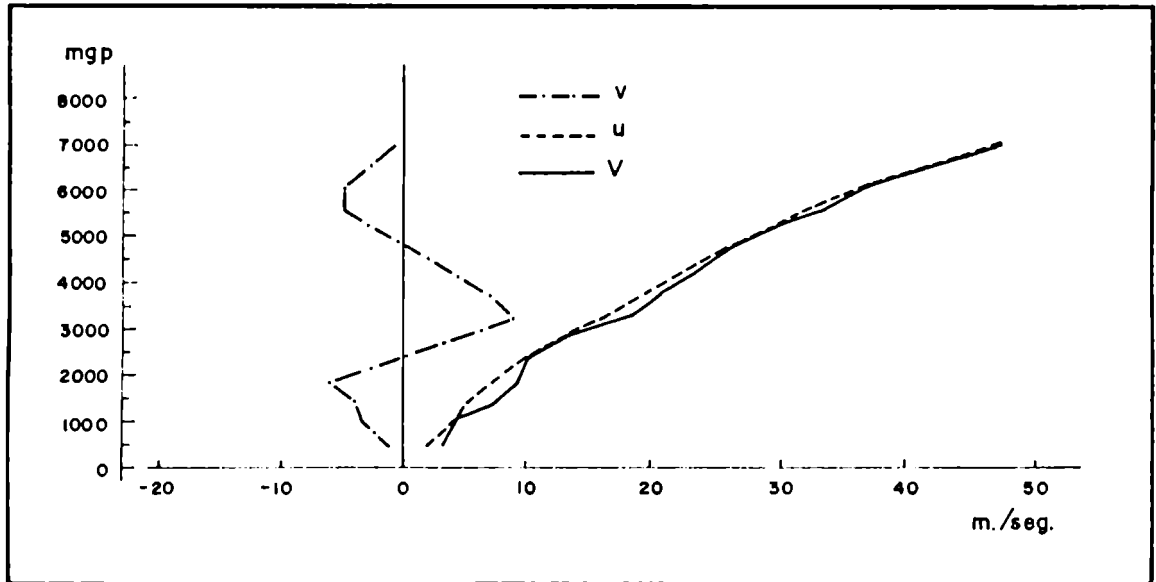


Fig. B.12: Perfil vertical del viento (componente zonal meridional y total) del 6/8/80 a 12 UTC en Quintero.

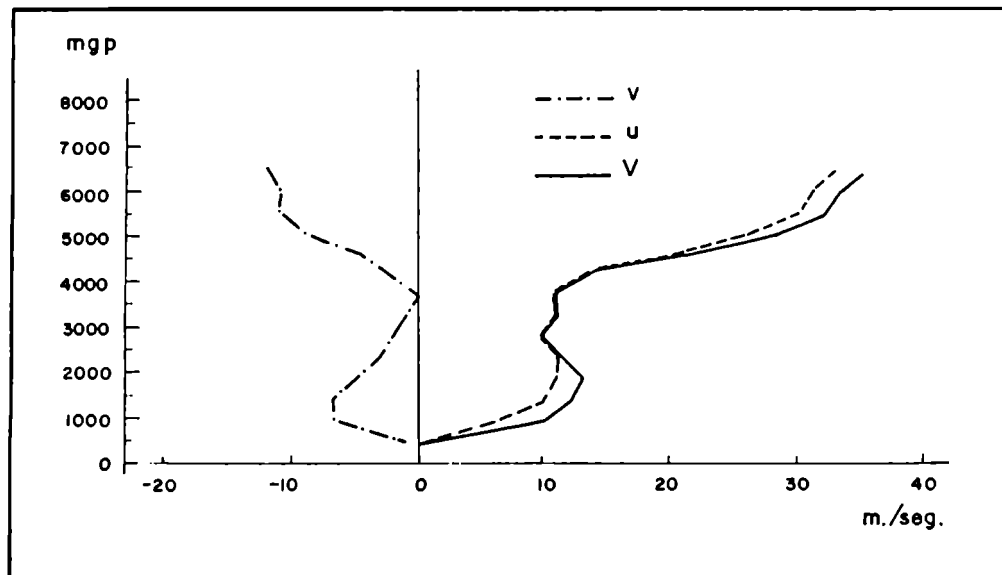


Fig. B.13: Perfil vertical del viento (componente zonal u, meridional v y viento total V) del 6/8/80 a 12 UTC en El Plumerillo

## APENDICE C

### ESTACIONES UTILIZADAS

La figura 1.1 indica la ubicación de las estaciones meteorológicas de Cuyo y de Chile cuya información fue utilizada en diferentes aspectos del trabajo.

A continuación se detalla la posición y altura sobre el nivel del mar. Aquellas estaciones donde no figura la numeración internacional pertenecen a la red provincial del CRICYT-ME, salvo la No.8 dependiente de Agua y Energía. El resto de las estaciones argentinas son sinópticas y pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional. Las ubicadas en Chile pertenecen a la FACH (Fuerza Aerea Chilena).

Numero en el mapa	Nombre	Numeracion internacional	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.
1	El Plumerillo	87-418	32o 50'	68o 47'	703
2	CRICYT	-	32o 53'	68o 51'	827
3	Vallecitos	-	32o 59'	69o 20'	2250
4	Puesto Reynoso	-	32o 58'	69o 19'	1770
5	La Asuadita	-	33o 05'	69o 17'	2225
6	San José	-	33o 18'	69o 09'	1220
7	El Manzano	-	33o 36'	69o 25'	1283
8	El Yaucha	-	34o 08'	69o 07'	1403
9	Uspallata	87-405	32o 36'	69o 20'	1900
10	Punta de Vacas	-	32o 49'	69o 53'	2395
11	Cristo Redentor	87-400	32o 50'	70o 05'	3800
12	San Carlos	87-412	33o 46'	65o 02'	943
13	San Rafael	87-509	34o 35'	68o 24'	688
14	Malarsde	87-506	35o 30'	69o 35'	1440
15	San Martin	87-416	33o 05'	68o 25'	653
16	La Paz	87-427	33o 28'	67o 33'	505
17	Nacufan	-	34o 02'	67o 58'	572
18	Jachal	87-305	30o 15'	68o 45'	1162
19	San Juan	87-311	31o 34'	68o 25'	641
20	Encón	-	32o 15'	67o 50'	530
21	El Retamo	-	32o 27'	67o 24'	525
22	San Luis	87-436	33o 16'	66o 21'	713
23	Villa Mercedes	87-448	33o 44'	65o 23'	484
24	La Serena	85-504	29o 54'	71o 15'	132
25	Quintero	85-543	32o 47'	71o 32'	2
26	Santiago de Chile	85-574	33o 27'	70o 42'	520

La figura 1.5 indica la ubicación de las estaciones meteorológicas de Argentina, Uruguay, Brasil, Paraguay, Chile y sector antártico que fueron consideradas para el archivo de la presión atmosférica a 12 UTC.

Numero en el mapa	Nombre	Numeracion internacional	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.
1	Montevideo	86-580	34o 51'	56o 16'	22
2	Punta del Este	86-595	34o 58'	54o 57'	16
3	Treinta y Tres	86-500	33o 13'	54o 23'	44
4	Rio Negro	86-460	32o 40'	56o 40'	--
5	Basé	84-980	29o 42'	53o 50'	--
6	Porto Alesre	84-971	31o 01'	51o 13'	47
7	Florianópolis	84-895	27o 35'	48o 34'	2
8	Ezeiza	87-576	34o 49'	58o 32'	20
9	Bahia Blanca	87-750	38o 44'	62o 11'	83
10	Mar del Plata	87-692	37o 56'	57o 35'	24
11	Dolores	87-648	36o 21'	57o 44'	9
12	Tres Arroyos	87-688	38o 20'	60o 15'	115
13	Azúl	87-642	36o 44'	59o 50'	132
14	Pisúe	87-679	37o 37'	62o 25'	304
15	Pehuajó	87-544	35o 51'	61o 52'	87
16	Junín	87-548	34o 33'	60o 57'	81
17	Iguazú	87-097	25o 41'	54o 27'	180
18	Posadas	87-178	27o 22'	55o 58'	133
19	Paso de los Libres	87-289	29o 41'	58o 09'	70
20	Montecaseros	87-393	30o 16'	57o 39'	107
21	Concordia	87-395	31o 18'	58o 01'	38
22	Gualeduaychú	87-497	33o 00'	58o 37'	24
23	Formosa	87-162	26o 12'	58o 14'	65
24	Las Lomitas	87-078	24o 42'	60o 35'	130
25	Corrientes	87-166	27o 27'	58o 46'	57
26	Sáenz Peña	87-149	26o 49'	60o 27'	92
27	Ceres	87-257	29o 53'	61o 57'	88
28	Sauce Viejo	87-371	31o 42'	60o 49'	18
29	Rosario	87-480	32o 55'	60o 47'	27
30	San Juan	87-311	31o 34'	68o 25'	598
31	Villa Maria del Río Seco	87-241	29o 54'	63o 41'	341
32	Córdoba	87-344	31o 19'	64o 13'	474
33	Laboulaye	87-534	34o 08'	63o 24'	138
34	Rio Cuarto	87-453	33o 05'	64o 16'	421
35	Villa Dolores	87-328	31o 57'	65o 08'	569
36	Santiago del Estero	87-129	27o 46'	64o 18'	199
37	San Miguel de Tucumán	87-116	26o 48'	65o 12'	481
38	Orán	87-016	23o 09'	64o 19'	357
39	Catamarca	87-220	28o 27'	65o 46'	531
40	La Rioja	87-217	29o 23'	66o 49'	430
41	San Luis	87-436	33o 16'	66o 21'	713
42	Villa Mercedes	87-448	33o 44'	65o 23'	487
43	Mendoza (El Plumerillo)	87-418	32o 50'	68o 47'	704
44	San Rafael	87-509	34o 35'	68o 24'	746
45	Malargüe	87-506	35o 30'	69o 35'	1423
46	General Pico	87-532	35o 42'	63o 45'	140
47	Santa Rosa	87-623	36o 34'	64o 16'	189
48	Viedma	87-791	40o 51'	63o 01'	60
49	San Antonio Oeste	87-784	40o 44'	64o 57'	7



(continuación)

Numero en el mapa	Nombre	Numeracion internacional	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.
50	San Carlos de Bariloche	87-765	41o 09'	71o 10'	836
51	Neuquén	87-715	38o 57'	68o 08'	270
52	Trelew	87-828	43o 14'	65o 19'	39
53	Esquel	87-803	42o 56'	71o 09'	566
54	Paso de Indios	87-814	43o 49'	68o 53'	460
55	Comodoro Rivadavia	87-860	45o 47'	67o 27'	61
56	Puerto Deseado	87-896	47o 44'	65o 55'	79
57	San Julian	87-909	49o 18'	67o 43'	26
58	Santa Cruz	87-912	50o 01'	68o 34'	111
59	Rio Gallegos	87-915	51o 38'	69o 13'	17
60	Lago Argentino	87-903	50o 20'	72o 18'	223
61	Rio Grande	87-934	53o 48'	67o 45'	10
62	Puerto Argentino	87-890	51o 70'	57o 00'	51
63	Gritviken	88-903	54o 16'	36o 30'	3
64	Iquique	85-418	20o 13'	70o 09'	8
65	Antofagasta	85-442	23o 26'	70o 28'	119
66	Chañaral	85-460	26o 21'	70o 42'	13
67	La Serena	85-500	29o 54'	71o 15'	132
68	Quintero	85-543	32o 47'	71o 32'	2
69	Curicó	85-629	34o 59'	71o 14'	211
70	Concepción	85-683	36o 50'	73o 03'	10
71	Temuco	85-743	38o 46'	72o 39'	114
72	Puerto Montt	85-801	41o 28'	72o 56'	13
73	Puerto Aysen	85-862	45o 24'	72o 42'	10
74	Punta Arenas	85-934	53o 10'	70o 54'	20
75	Diedo Ramirez	85-972	56o 32'	68o 43'	25
76	Isla Juan Fernandez	85-585	33o 37'	78o 52'	5
77	Cabo Raper	85-889	46o 50'	75o 35'	40
78	Base Alte. Brown	88-971	64o 52'	62o 52'	8
79	Base Tte. Camara	88-984	64o 58'	60o 03'	22
80	Base Vcom. Marambio	89-055	64o 14'	56o 43'	198
81	Islas Orcadas	88-968	60o 44'	44o 44'	4

## APENDICE D

### A MANERA DE GLOSARIO

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se han mencionado una serie de términos, algunos asignados subjetivamente por el autor para identificar ciertas situaciones o elementos típicos del fenómeno en cuestión y otros que ya son conocidos en la bibliografía universal. Algunos de estos conceptos fueron adaptados a las características de la región tomando como base al Glosario de Meteorología (Huschke, Ralph E., 1980).

Se mencionan aquí los considerados como mas importantes.

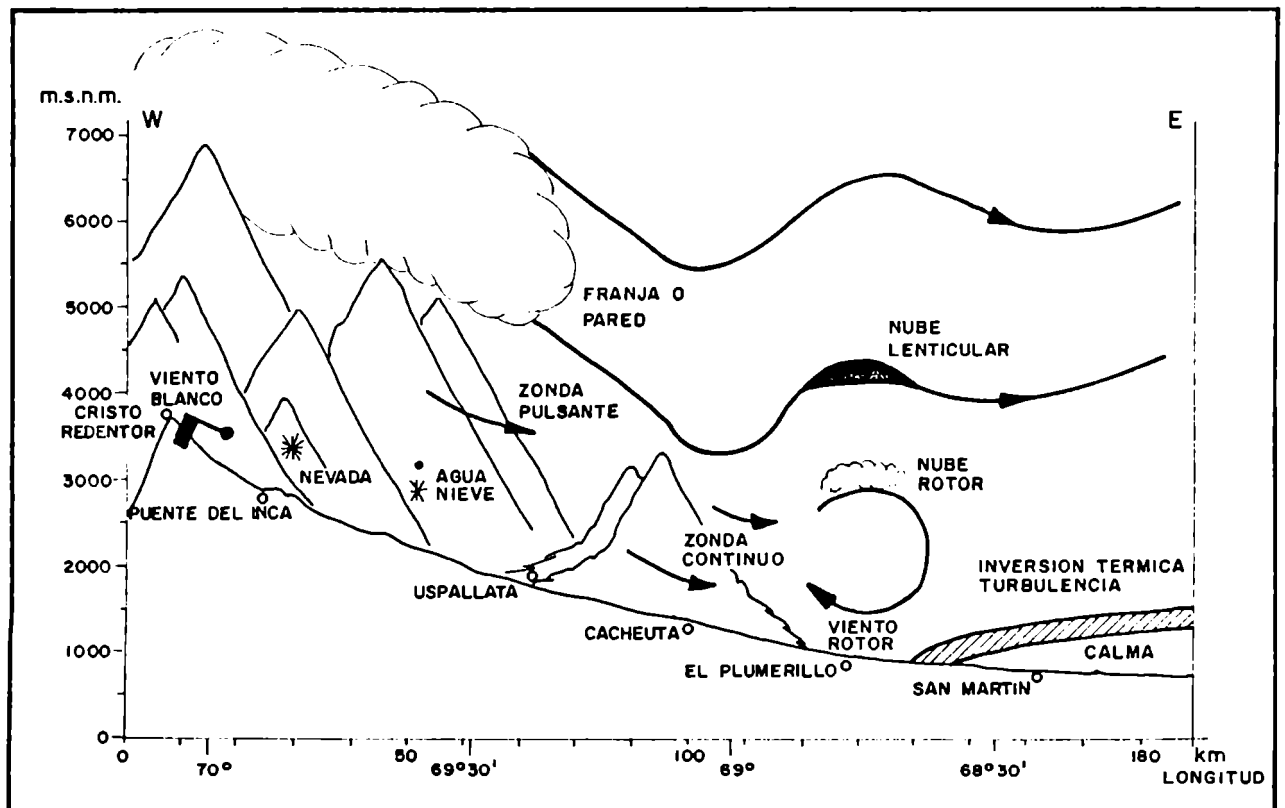
1. **ZONDA TÉRMICO** Surge de un método para identificar periodos de Viento Zonda cuando se carece de anemógrafo. Hay Zonda térmico si al restar la variación de la temperatura media de la variación de la temperatura real se obtuvo un valor que logra superar 1.50C. Las variaciones son consideradas entre una hora y la siguiente.
2. **ZONDA HÍDRICO** Este término surge debido al mismo inconveniente que el zonda térmico. Cuando al restar la variación de la humedad relativa media entre una hora y la siguiente de la variación de la humedad relativa real entre esa misma hora y la siguiente, se obtiene un valor mayor o igual que -6%, hay zonda hídrico (siempre que la humedad sea inferior al 48%).
3. **ZONDA PULSANTE** Corresponde tanto al zonda térmico como al hídrico. Cuando en forma alternada se presentan incrementos o decrementos de temperatura (o de humedad relativa) en intervalos cortos de tiempo. Es mas frecuente en estaciones de montaña que en el llano.
4. **ZONDA CONTINUO** Cuando una vez iniciado el Zonda térmico o el Zonda hídrico, no se registran variaciones pulsantes durante un lapso prolongado.
5. **ZONDA DE ALTURA** Son situaciones donde el viento esta presente en estaciones de montaña pero no logra perforar la capa de aire frío y estable que cubre las capas bajas en el llano.
6. **FRANJA O PARED DEL ZONDA** Es el límite oriental de la barrera nubosa formada sobre los picos y a barlovento de la montaña durante condiciones de Zonda. La nubosidad puede ser del tipo cirroestratos, altoestratos y nimboestratos. En ocasiones severas se observan formaciones cumuliformes. Suele conservar su

posición, especialmente en las etapas de Zonda de altura, pudiendo avanzar hacia el llano en días de Zonda. En esas oportunidades pueden observarse formaciones de tipo 'mammatus'. En las Rocallosas se reconoce esta formación con el nombre de 'arco del chinook'. En el sudeste de Alemania, en Suiza y en Austria se denomina 'pared del föhn'.

7. **NUBES LENTICULARES** Tipo de nubosidad cuyos elementos tienen forma de lentes o almendras mas o menos aisladas. En ocasiones muestran estados de irisación. Suelen formarse en la cresta de la primera onda de sotavento, manteniéndose en posición estacionaria. Pertenecen al género de los cúmulos, altocúmulos y ocasionalmente a estratocúmulos.
8. **NUBE ROTOR** Llamada a veces 'nube en rollo', es una formación turbulenta del tipo altocúmulos que se encuentra a sotavento de grandes cadenas montañosas. El aire en la nube gira alrededor de un eje paralelo a la montaña. En la zona de Cuyo puede presentarse también en forma de cumulos pequeños.
9. **EFEECTO ZONDA** Cuando en zonas próximas a donde esta soplando el Viento Zonda se registran los mismos efectos hidrotérmicos que éste provoca, pero con ausencia de viento. Hoinka lo define como 'föhn clearance' en las cercanías de Munich (Alemania Federal). En Cuyo, en algunas ocasiones, este efecto puede extenderse a la provincia de San Luis.
10. **PAUSA DE ZONDA** Corresponde a una interrupción temporaria del Zonda. Se observa con mayor frecuencia en zonas de montaña. Es el lapso que media entre pulso y pulso del Zonda pulsante o un período corto sin Zonda entre dos Zondas continuos consecutivos.
11. **ANILLO DEL ZONDA** Es el área afectada por Viento Zonda o por efecto Zonda.
12. **VIENTO BLANCO** Nombre local para designar tempestades de viento y nieve en la alta montaña acompañadas de ventisca (nieve levantada por el viento) y de un descenso continuo de temperatura. Estas tempestades se asocian a las situaciones de Zonda en la precordillera y el llano.
13. **VIENTO ROTOR** Viento con fuerte componente del este que se presenta en el llano y piedemonte de la precordillera, generalmente antes de iniciarse el Viento Zonda (en ocasiones también se registra al finalizar). Presenta características de sequedad y calentamiento semejante al Zonda. Está generalmente ausente en los eventos severos.
14. **SUDESTADA** Denominación regional de situaciones de mal tiempo en el llano cuyano caracterizadas por cielos cubiertos (en general de nubosidad estratiforme del tipo nimboestratos, estratos y estratocúmulos) acompañadas de lluvia, lloviznas y ocasionalmente nieve. Suele prolongarse por algunos días. El viento del este o sudeste es suave o moderado. No siempre coincide con la sudestada del Río de la Plata asociada a ciclogénesis en el litoral argentino y República del Uruguay.
15. **INVIERNO** Para este trabajo se consideraron los meses de mayo, junio, julio y agosto como meses de invierno.

16. **DIA METEOROLOGICO** Al comprendido entre las 9 HOA de un día y las 9 HOA del día siguiente.
17. **DIA NO-ZONDA** Cualquier día meteorológico que no presente Zonda ni en San Juan ni en El Plumerillo.
18. **DIA SIN ZONDA** Corresponde al día meteorológico que no presenta Zonda en el llano ni en altura ni es Previo 24 ni Previo 48 (ver 5.4).

La figura D.1 muestra una representación ideal de condiciones de Viento Zonda a la latitud de la ciudad de Mendoza, indicándose algunos de los elementos mencionados.



## EPILOGO

El desarrollo de este trabajo de tesis permite establecer, mediante los resultados y conclusiones arribadas, distintas líneas de acción futura tanto de métodos operativos como de temas de investigación, asociados o derivados del estudio del Viento Zonda.

Estos pueden ser :

La caracterización del Zonda en altura y su relación con días de alta contaminación en áreas urbanas.

La inhibición de la convección por efecto del Viento Zonda a comienzos de la temporada de verano.

La influencia del Viento Zonda en áreas nevadas de la cordillera y sus posibles efectos sobre los aludes o avalanchas.

La relación entre las ondas de montaña y la ocurrencia de Zonda.

La influencia del Zonda y Zonda en altura sobre el estado psicofísico de la población, mediante trabajos interdisciplinarios con meteorólogos, psicólogos, médicos y biólogos.

La realización de un análisis comparativo entre la información obtenida en la ladera oriental de la cordillera y la atmósfera libre para días de Zonda y de Zonda en altura con el fin de establecer un criterio de cálculo de los parámetros en regiones de montaña carentes de información.

La confección de un atlas regional de nubes asociadas a los distintos eventos que se registran en la zona (Viento Zonda, de altura, de superficie y severos; advección de aire marítimo en el llano; tormentas convectivas).

La prevención del fenómeno en sí puede ser optimizada con los programas predictivos implementados utilizándolos en las oficinas de pronóstico, dada su practicidad y sencillez. De igual manera sirven indirectamente para el pronóstico de temporales de nieve en alta cordillera.

Dado los pocos antecedentes en el país referidos al fenómeno Zonda, los resultados de esta investigación contribuirían a dar elementos no sólo a otros proyectos de Meteorología sino también a los relacionados con la nivología, la glaciología, la hidrología, la medicina, la bioclimatología y la aerometeorología.

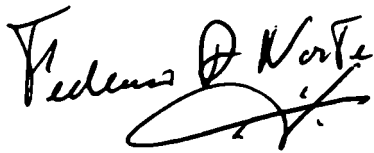
El conocimiento del comportamiento climático del Viento Zonda significará un aporte para resolver problemas de tipo industrial, tales como el tendido de líneas de alta tensión y construcciones en zonas expuestas, así como en la planificación agrícola.

Los programas predictores desarrollados podrían ser utilizados en la región como contribución al desarrollo agrícola, a las actividades de montaña como ser turismo y transporte, en la prevención de avalanchas y al prevenir a paliar los efectos del Viento Zonda en todas las actividades desarrolladas por las comunidades de la región.

Los resultados de la investigación pueden ser empleados por los profesionales e investigadores meteorológicos, en la Universidad de Buenos Aires y el Servicio Meteorológico Nacional.

El conocimiento climatológico del Viento Zonda puede ser usado por Agua y Energía Eléctrica, Energía de Mendoza Sociedad del Estado, Vialidad Nacional, Vialidad Provincial, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrarias y Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo.

Debido a los efectos que produce el viento, asociado con valores extremos de alta temperatura y baja humedad, produciendo voladura de techos, caída de cables de alta tensión y telefónicos, incendios y alteraciones nerviosas en la población, usuarios potenciales del resultado de las investigaciones en curso son además: Cuerpo de Bomberos, Compañía de Teléfonos, Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Cuyo, Hospitales, Policía y Tribunales. A través del Ministerio de Obras y Servicios Públicos y/o Bienestar Social de las provincias afectadas por este fenómeno se podría establecer un sistema de aviso o alerta (en especial ante la proximidad de casos severos) utilizando los medios de comunicación masiva (radio y TV).



LIC. FEDERICO A. NORTE



DR. ERICH R. LICHTENSTEIN