

## Tesis de Posgrado

# Estudio de las líneas de inestabilidad en la República Argentina

Gordillo, Susana Beatriz

2000

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias  
de la Atmósfera 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:

Gordillo, Susana Beatriz. (2000). Estudio de las líneas de inestabilidad en la República Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_3235\\_Gordillo.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3235_Gordillo.pdf)

#### Cita tipo Chicago:

Gordillo, Susana Beatriz. "Estudio de las líneas de inestabilidad en la República Argentina". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2000.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_3235\\_Gordillo.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3235_Gordillo.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**  
**Departamento de Ciencias de la Atmósfera**

***ESTUDIO DE LAS LINEAS DE INESTABILIDAD***  
***EN LA***  
***REPUBLICA ARGENTINA***

***Autor***

**Susana Beatriz Gordillo**

***Director***

**Dr. Erich R. Lichtenstein**

35

**Tesis presentada para optar al título de Doctor en Ciencias de la Atmósfera**

# *INDICE*

INDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

## **CAPITULO 1: Reseña de estudios sobre líneas de inestabilidad**

|       |                                      |   |
|-------|--------------------------------------|---|
| 1.    | Introducción.....                    | 1 |
| 1.1   | Estudios previos sobre el tema ..... | 1 |
| 1.1.1 | Antecedentes Internacionales.....    | 1 |
| 1.1.2 | Antecedentes Nacionales.....         | 4 |
| 1.2   | Objetivos Propuestos.....            | 6 |
| 1.2.1 | Consideraciones Generales.....       | 6 |
| 1.2.2 | Objetivo General.....                | 6 |
| 1.2.3 | Objetivos Parciales.....             | 7 |
| 1.2.4 | Desarrollo de los objetivos.....     | 7 |

## **CAPITULO II: Estudio detallado de tres líneas de inestabilidad**

|       |                                                            |           |
|-------|------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1   | La línea de inestabilidad del 11 de noviembre de 1993..... | 8         |
|       | <i>Información utilizada.....</i>                          | <i>8</i>  |
|       | <i>Introducción.....</i>                                   | <i>8</i>  |
| 2.1.1 | Situación sinóptica.....                                   | 9         |
|       | <i>10 de noviembre de 1993 a las 12.00 UTC .....</i>       | <i>9</i>  |
|       | <i>Análisis detallado de superficie.....</i>               | <i>10</i> |
|       | <i>11 de noviembre de 1993 a 12.00UTC.....</i>             | <i>10</i> |

|       |                                                                                 |           |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|       | <i>Análisis detallado de superficie.....</i>                                    | <i>11</i> |
| 2.1.2 | Características particulares de la línea.....                                   | 11        |
|       | <i>Análisis temporales.....</i>                                                 | <i>11</i> |
|       | <i>Isocronas.....</i>                                                           | <i>12</i> |
|       | <i>Descripción de imágenes.....</i>                                             | <i>12</i> |
| 2.1.3 | Descripción de los factores que determinaron la inundación de Mina Clavero..... | 13        |
|       | <i>Introducción.....</i>                                                        | <i>13</i> |
|       | <i>Ubicación geográfica de ocurrencia de la inundación repentina.....</i>       | <i>13</i> |
|       | <i>Estudio de las precipitaciones en la cuenca de Mina Clavero .....</i>        | <i>14</i> |
| 2.1.4 | Dinámica de la inundación del 10-11 de noviembre de 1993.....                   | 14        |
|       | <i>Caudales aforados.....</i>                                                   | <i>15</i> |
| 2.1.5 | Comentarios de diarios.....                                                     | 15        |
|       | <i>Testimonios .....</i>                                                        | <i>15</i> |
| 2.1.6 | Conclusiones.....                                                               | 18        |
| 2.2   | La línea de inestabilidad del 11 de diciembre de 1979                           |           |
|       | <i>Introducción.....</i>                                                        | <i>46</i> |
| 2.2.1 | Situación sinóptica.....                                                        | 46        |
|       | <i>10 de diciembre de 1979 a las 12.00 UTC.....</i>                             | <i>46</i> |
|       | <i>Formación de la línea de inestabilidad .....</i>                             | <i>47</i> |
|       | <i>11 de diciembre a las 00.00 UTC.....</i>                                     | <i>47</i> |
|       | <i>Análisis de la temperatura potencial equivalente en altura.....</i>          | <i>47</i> |
|       | <i>11 de diciembre de 1979 a las 12.00 UTC.....</i>                             | <i>48</i> |
|       | <i>12 de diciembre de 1979 a las 00.00 UTC.....</i>                             | <i>48</i> |

|                                                                                   |                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                                   | <i>Análisis de la temperatura potencial equivalente en altura.....</i>    | <i>.48</i> |
|                                                                                   | <i>Análisis del corte vertical.....</i>                                   | <i>.48</i> |
|                                                                                   | <i>Análisis detallado en superficie de la línea de inestabilidad.....</i> | <i>.49</i> |
|                                                                                   | <i>Análisis detallado de la depresión de estela.....</i>                  | <i>.49</i> |
| 2.2.2                                                                             | Conclusiones.....                                                         | 51         |
| 2.3                                                                               | La línea de inestabilidad del 2 de enero de 1984.....                     | 67         |
|                                                                                   | <i>Introducción.....</i>                                                  | <i>.67</i> |
| 2.3.1                                                                             | Situación sinóptica.....                                                  | 67         |
|                                                                                   | <i>1 de enero de 1984 a las 12.00UTC.....</i>                             | <i>.67</i> |
|                                                                                   | <i>Análisis detallado de la línea de inestabilidad.....</i>               | <i>.67</i> |
|                                                                                   | <i>2 de enero de 1984 a las 12.00 UTC.....</i>                            | <i>.68</i> |
|                                                                                   | <i>Análisis del radiosondeo de Ezeiza.....</i>                            | <i>.69</i> |
|                                                                                   | <i>Análisis detallado de la línea de inestabilidad.....</i>               | <i>.69</i> |
| 2.3.2                                                                             | Imágenes de radar.. ..                                                    | 70         |
| 2.3.3                                                                             | Conclusiones .....                                                        | 71         |
| 2.4                                                                               | Conclusion del estudio de las tres líneas de inestabilidad.....           | 72         |
| <br><b>CAPITULO III : Aspectos estadísticos de las líneas de inestabilidad en</b> |                                                                           |            |
| <b>la región central de Argentina .....85</b>                                     |                                                                           |            |
| 3.1                                                                               | Metodología para el tratamiento estadístico de la información. ....       | 85         |
|                                                                                   | meteorológica                                                             |            |
| 3.1.1                                                                             | Información utilizada.....                                                | 86         |
| 3.1.2                                                                             | Casos seleccionados de líneas de inestabilidad....                        | 86         |
| 3.2                                                                               | Situación sinóptica asociada a la ocurrencia de líneas de inestabilidad   | 87         |
| 3.2.1                                                                             | Campo medios .....                                                        | .87        |

|       |                                                                                                                             |           |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|       | <i>Día -2.....</i>                                                                                                          | <i>87</i> |
|       | <i>Día -1; Día de línea de inestabilidad; Día +1.....</i>                                                                   | <i>88</i> |
|       | <i>Día +2.....</i>                                                                                                          | <i>89</i> |
| 3.2.2 | Campo de anomalías medias                                                                                                   |           |
|       | <i>Anomalías de altura geopotencial.....</i>                                                                                | <i>89</i> |
|       | <i>Día -2 .....</i>                                                                                                         | <i>89</i> |
|       | <i>Día -1; Día de línea de inestabilidad.....</i>                                                                           | <i>90</i> |
|       | <i>Día +1; Día +2.....</i>                                                                                                  | <i>91</i> |
|       | <i>Anomalías en la temperatura de superficie el</i><br><i>“Día de línea de inestabilidad”.....</i>                          | <i>92</i> |
|       | <i>Anomalías de la temperatura potencial equivalente en 850 hPa el</i><br><i>“Día de línea de inestabilidad”.....</i>       | <i>92</i> |
| 3.3   | Indice de inestabilidad “K” de días de líneas de inestabilidad                                                              |           |
|       | <i>Campo Promedio de K de la muestra total de los días de.....</i><br><i>Línea de Inestabilidad</i>                         | <i>93</i> |
|       | <i>Campo Promedio de K de la muestra de Líneas de Inestabilidad.....</i><br><i>de los meses Enero , Febrero y Diciembre</i> | <i>93</i> |
|       | <i>Campo Promedio de K de la muestra de Líneas de Inestabilidad.....</i><br><i>de los meses Marzo, Octubre y Noviembre</i>  | <i>93</i> |
|       | <i>Campo Promedio de Anomalia del Indice K de los seis meses.....</i><br><i>considerados</i>                                | <i>93</i> |
|       | <i>Campo Promedio de Anomalia del Indice K de.....</i><br><i>Enero, Febrero y Diciembre</i>                                 | <i>93</i> |
|       | <i>Campo Promedio de Anomalia del Indice K de.....</i><br><i>Marzo , Octubre y Noviembre</i>                                | <i>93</i> |
| 3.4   | Variación del espesor 500 /1000 hPa en las 24 horas previas.....                                                            | 94        |
|       | al “ <i>Día de ocurrencia de línea de inestabilidad</i> ”                                                                   |           |
|       | <i>Variación del Espesor en 24 horas de Enero , Febrero, Marzo,.....</i><br><i>Octubre, Noviembre y Diciembre</i>           | <i>94</i> |

|     |                                                                           |           |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
|     | <i>Variación del Espesor de los meses Enero, Febrero y Diciembre.....</i> | <i>95</i> |
|     | <i>Variación del Espesor de los meses Marzo, Octubre y Noviembre.....</i> | <i>95</i> |
| 3.5 | Conclusiones.....                                                         | 96        |

#### **CAPITULO IV: Comportamientos de distintos parámetros asociados a la ocurrencia de líneas de inestabilidad ..... 113**

|       |                                                                                                                                 |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1   | Información utilizada.....                                                                                                      | 113 |
| 4.2   | Tratamiento de la información.....                                                                                              | 113 |
| 4.2.1 | Diferencia de altura geopotencial entre las localidades Monte.....<br>Caseros y Villa María del Río Seco a nivel de 1000 hPa.   | 114 |
| 4.2.2 | Diferencia de altura geopotencial entre las localidades de.....<br>Porto Alegre (Brasil) y Villa María del Río Seco a 1000 hPa. | 114 |
| 4.2.3 | Diferencia de alturas entre Porto Alegre (Brasil) y.....<br>Villa María del Río Seco en el nivel de 850 hPa                     | 115 |
| 4.2.4 | Diferencia de espesor 500 /1000 hPa entre las localidades.....<br>Santa Rosa y Puerto Montt (Chile)                             | 116 |
| 4.2.5 | Diferencia de Temperaturas entre Santa Rosa.....<br>y Puerto Montt (Chile) en 1000 hPa                                          | 116 |
| 4.2.6 | Diferencia de Espesor en Puerto Montt (Chile) .....<br>entre Día de Línea – Día (-1) Línea                                      | 117 |
| 4.2.7 | Comportamiento de Indices de Inestabilidad                                                                                      | 117 |
|       | Indice K en Córdoba.....                                                                                                        | 117 |
|       | Indice K en Ezeiza.....                                                                                                         | 118 |
|       | Indice K en Resistencia.....                                                                                                    | 118 |
|       | Indice K en Santa Rosa.....                                                                                                     | 119 |
|       | Indice “Total-Totals ” en Ezeiza.....                                                                                           | 119 |
|       | Indice “Total-Totals ” en Resistencia                                                                                           | 120 |
|       | Indice “Total-Totals ” en Córdoba.....                                                                                          | 120 |

## INDICE

|                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Indice “Total-Totals ” en Santa Rosa .....                                                | 120        |
| 4.3 Conclusiones.....                                                                     | 122        |
| <b>CAPITULO V : Métodos Objetivos de Pronóstico.....</b>                                  | <b>137</b> |
| 5.1 Introducción. ....                                                                    | 137        |
| 5.2 Elección de predictores.....                                                          | 138        |
| 5.2.1 Predictores pre-seleccionados.....                                                  | 138        |
| 5.2.2 Selección de los parámetros utilizando el<br>Método Discriminante Multivariado..... | 141        |
| 5.2.3 Selección de los mejores predictores.....                                           | 141        |
| 5.3 Verificación sobre los 101 casos tomados al azar                                      | 142        |
| 5.3.1 Porcentaje de Acierto .....                                                         | 143        |
| 5.3.2 Coeficiente de Yule.....                                                            | 143        |
| 5.3.3 Skill – Score.....                                                                  | 144        |
| 5.4 Conclusiones.....                                                                     | 146        |
| Anexo 1 Estaciones Meteorológicas Argentinas                                              |            |
| Anexo 2 Indices de Inestabilidad                                                          |            |
| Anexo 3 Análisis Discriminante                                                            |            |
| Referencias Bibliográficas                                                                |            |

*Deseo expresar mis mas profundos agradecimientos a:*

*A el Dr. Erich R. Lichtenstein con el cuál hemos compartido el placer de realizar esta Tesis Doctoral , intercambiando ideas y contando siempre con el aporte de sus conocimientos, estímulo y apoyo.*

*A el Dr. Marcelo Seluchi , por su invalorable colaboración .*

*A la Universidad de Buenos Aires por posibilitarme la Beca de Perfeccionamiento para realizar la Tesis Doctoral.*

*A mis colegas del Departamento de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Buenos Aires por su hospitalidad y apoyo.*

*A las autoridades del Servicio Meteorológico Nacional por las facilidades otorgadas a fin de concluir esta Tesis Doctoral, en particular al Sr. Daniel Olmos por la colaboración prestada en el acceso a la información meteorológica.*

*A el geólogo Carlos A. Ruibal por el asesoramiento brindado de toda la zona serrana de la provincia de Córdoba.*

*A mi eterno e inseparable compañero , Jorge.*

**A mis padres y a mis hijos**

**con todo mi amor**

## RESUMEN

*Las líneas de inestabilidad en nuestro país traen aparejados con frecuencia fenómenos de tiempo severo , tormentas eléctricas con ráfagas intensas , fuertes precipitaciones con inundaciones repentinas , brusco descenso de temperatura , granizo y tornados con consecuencias importantes en lo socio-económico.*

*El objetivo de la presente tesis es estudiar las características de las líneas de inestabilidad en la Argentina , las condiciones asociadas al desarrollo de las mismas y la factibilidad de obtener métodos objetivos para el pronóstico de las mismas.*

*Para ello se analizaron tres líneas de inestabilidad en forma detallada a fin de encontrar los rasgos comunes de las mismas.*

*La primera produjo una inundación repentina en Mina Clavero con importantes daños en esa ciudad provocada por una precipitación de 300 mm en cuatro horas en la Sierra de los Comechingones (Córdoba) , la segunda fue acompañada por una intensa depresión de estela que se produjo en la ciudad de Buenos Aires con intensidades de viento de 45 Kts mientras que la tercera fué captada por el radar meteorológico M33 en la estación meteorológica Ezeiza , lo que permitió el estudio de la disposición de las células convectivas en la misma .*

*Las tres líneas de inestabilidad se desarrollaron dentro de una masa de aire caliente e inestable por delante de un sistema frontal , en un campo de apreciable baroclinicidad . Una corriente en chorro en 850 hPa aportó calor y humedad y en la troposfera media una masa de aire seco penetró por detrás de las líneas de inestabilidad .*

*Con el fin de determinar las condiciones sinópticas conducentes a la formación de las líneas de inestabilidad y las características de las masas de aire , se usaron los análisis diarios de 12 UTC del Centro Europeo a Mediano Plazo del Departamento de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Buenos Aires y los análisis trihorarios del Servicio Meteorológico Nacional de los meses de Octubre a Marzo de los años 1982-1984. Se eligió un área de estudio delimitada por los paralelos 30°S y 40°S y los meridianos 50°O y 70°O, se observaron 109 líneas de inestabilidad que afectaron el área indicada.*

*Con respecto a la situación sinóptica asociada a la ocurrencia de las 109 líneas seleccionadas se observó que previa a la formación de la línea de inestabilidad se produce una profundización de la Depresión del Noroeste Argentino con el consecuente aumento en la advección de calor y humedad lo que produce una anomalía positiva máxima de inestabilidad en el sur de Córdoba y noroeste de Buenos Aires. Asociado a una depresión en el sur de la Patagonia avanza un frente frío que el día de la línea alcanza en promedio las provincias de Mendoza y La Pampa y el sudoeste de Buenos Aires , en tanto que una vaguada de onda corta en niveles medios se acerca desde el Océano Pacífico hacia la región central del país.*

## RESUMEN

*Estudiando la incidencia de distintos parámetros meteorológicos en la formación de líneas de inestabilidad se encontró que fueron preponderantes la influencia del viento de dirección norte hacia la región central del país, tanto en 1000 hPa como en 850 hPa; la inestabilidad que adquiere la masa de aire allí presente y la entrada de aire frío desde el sudoeste del área de estudio.*

*Con los resultados obtenidos previamente se seleccionaron dieciocho parámetros predictores a los que se aplicó el Análisis Discriminante con el propósito de encontrar un método objetivo de pronóstico.*

*El procedimiento estadístico utilizado determinó que los parámetros de mayor significancia en el pronóstico de líneas de inestabilidad estaban relacionados con la inestabilidad de la masa de aire presente en la porción central del país, la intensidad del flujo zonal en 500 hPa entre 30°S y 40°S en 70°O, la entrada de aire frío por Puerto Montt y la baroclinicidad entre Santa Rosa y Puerto Montt.*

*La verificación en una serie independiente de 101 datos arrojó un 73% de acierto en el pronóstico de líneas de inestabilidad.*

## CAPITULO 1

### RESEÑA DE ESTUDIOS SOBRE LINEAS DE INESTABILIDAD

*El objetivo principal de este capítulo  
es realizar una breve reseña  
sobre los  
antecedentes internacionales  
y nacionales sobre líneas de inestabilidad.*

#### 1. Introducción

La actividad convectiva ha llamado la atención de muchos meteorólogos debido a su influencia en los fenómenos del tiempo .

El Glosario de Meteorología (1959) define una línea de inestabilidad como una línea o banda de actividad convectiva no frontal , con ráfagas o sin ellas. Los autores han usado varios términos para describirla según el énfasis en sus investigaciones por ejemplo : “pre-cold frontal squall line”, (Harrison y Orendorff ,1941) ; “non frontal thunderstorms”, (Byers, 1942) ; “instability line ”, (Fulks, 1951) ; “prefrontal squall line”, (Newton , 1950); “ pressure jump line ”,(Tepper, 1950); “convective system”, ( Bergeron ,1954) .

#### 1.1 Estudios previos sobre el tema

##### 1.1.1 Antecedentes Internacionales

Durand – Gréville (1892) investigó la línea de tormentas del 27 de Agosto de 1890 , que se movió desde el centro de Francia hasta el sud de Alemania. Esta línea fue acompañada por una apreciable subida de presión y fuertes vientos y fue denominada “ligne de grain”.

Suckstorff (1938) estudia el campo de presión y temperatura de unas tormentas en el norte de Alemania y concluye que el aire frío, que se observa en relación con estos fenómenos, es producido por la evaporación de la lluvia.

En el trabajo de Harrison y Orendorff (1941) donde se estudian líneas de inestabilidad prefrontales, aparece por primera vez la denominación “Pre-cold frontal Squall-Lines”. Dichos autores hacen notar la importancia en la observación de superficie de la tendencia, destacando que en la estación meteorológica donde se observa la mayor caída de presión es donde puede iniciarse una línea de inestabilidad, si las condiciones del entorno le son favorables.

Byers y Braham (1949) estudian áreas convectivas dentro de las cuáles hay una línea de inestabilidad, empleando por primera vez microredes en superficie, penetraciones con aviones y radares. Hacen un estudio estadístico muy completo del ciclo de vida de las tormentas, su circulación, dinámica y desplazamiento y describen la existencia de micro frente fríos producidos por el descenso de aire enfriado por la evaporación de las precipitaciones.

Tepper (1950) observando el desplazamiento de líneas de salto de presión en una inversión, considera que el mecanismo de generación y propagación de líneas de inestabilidad lo constituyen ondas de gravedad.

Newton (1950) estudia un caso de línea de inestabilidad (29 de Mayo de 1947) utilizando el Thunderstorm Project Network, Ohio. Obtiene así un modelo de la estructura transversal de las líneas de inestabilidad y de la circulación de las masas de aire intervinientes. Propone como mecanismo de propagación de la línea de inestabilidad un campo de componentes ageostróficas normales a la línea producido por la transferencia vertical de la cantidad de movimiento bajo condiciones de fuerte cortante vertical.

Breiland (1951) estudia las corrientes en chorro de capas bajas en conexión con la aparición de líneas de inestabilidad. Muestra que las corrientes en chorro en capas bajas con componente hacia el Polo y desplazamiento hacia el este producen un área de convergencia, además de desestabilización vertical.

Williams (1953) examina los cambios de presión asociados con líneas de inestabilidad en el medio oeste de los EE. UU, en particular la aparición de un centro de baja presión en la parte posterior de la línea, denominada luego “wake-low” (depresión de estela). Relaciona estos mesosistemas con intensos movimientos verticales inducidos por la dinámica de las mismas líneas.

Fujita (1957) hace un detallado estudio sinóptico de una línea de inestabilidad utilizando la mesored del Thunderstorm Project y confecciona cartas de altura. Un resultado de sus investigaciones es la confirmación de que la masa de aire frío detrás de la línea de cambio de viento proviene de las corrientes descendentes (“downdraft”).

Miller (1967) estudia las líneas de inestabilidad y tormentas severas en forma detallada, encontrando que las condiciones favorables para la formación y desarrollo de las mismas son la advección de aire frío en niveles medios y altos de la atmósfera, incremento de la temperatura y humedad en capas bajas, entrada de aire seco en niveles medios, convergencia en niveles bajos y transferencia de cantidad de movimiento de niveles medios a superficie .

Houze (1977) se dedica a estudiar la estructura y dinámica de las líneas de inestabilidad en latitudes tropicales.

Klemp y Wilhelmsen (1978), Weisman y Klemp (1984) le dan suma importancia a la cortante del viento en el desarrollo de sistemas convectivos.

Colquhoun (1980) analiza un método para estimar la velocidad de traslado de tormentas severas, usando el perfil vertical de viento en el entorno donde se desarrolla la tormenta.

Orville (1986) simuló una línea de inestabilidad empleando un modelo numérico de mesoescala con una detallada parametrización de la microfísica de nubes. Logra simular con gran claridad el frente de ráfagas asociado con el avance de la línea de inestabilidad.

Colquhoun (1987) estudia la influencia de parámetros meteorológicos (termodinámicos y sinóptico-dinámicos), que son esenciales para la ocurrencia de tormentas severas y fenómenos asociados a las mismas.

### **1.1.2 Antecedentes nacionales**

En nuestro país , Lichtenstein y Schwarzkopf (1970) hicieron un estudio sobre la formación y persistencia de las líneas de inestabilidad en función de algunos parámetros sinópticos y aerológicos. A tal fin utilizaron los datos del decenio 1958-1967, y evaluaron los parámetros correspondientes a las 12 UTC de cada día y la ocurrencia de las líneas de inestabilidad durante las 24 horas subsiguientes, dentro de un área testigo. Concluyeron que condiciones favorables para la formación y subsistencia de líneas de inestabilidad son: inestabilidad de las masas de aire, profundización de la depresión del noroeste argentino y viento de dirección norte. Los mismos autores también trataron aspectos estadísticos de las líneas de inestabilidad . En la mayoría de los casos se identifica a las líneas como “prefrontales”. Se obtuvo una velocidad promedio de avance de 48 Km/h , longitud media de la línea de inestabilidad, 711 Km, la distancia media recorrida, 687 Km, duración media de 17.3 horas y una máxima frecuencia en el centro y noreste del país.

Benzaquen (1974) estudió una línea de inestabilidad con información provista por satélites meteorológicos. La autora observa en este trabajo un conjunto de mesosistemas convectivos, que no presentan una ordenación en línea sino que se agrupan en un área circular de aproximadamente 500 Km de diámetro, que en lugar de desplazarse hacia el noreste por delante del frente se mantuvo casi estacionaria.

Bischoff y Velasco (1979) estudiaron el mesociclón de Ezeiza del día 13 de abril de 1972. La conclusión a la que arribaron después de un detallado mesoanálisis de superficie, es que el sistema en estudio era posible identificarlo como un frente frío ocasionado por confluencia de una masa de aire cálido y húmedo del noroeste y otra seca y fría del sudoeste en capas bajas y tres corrientes en chorro en los niveles superiores. El mesoanálisis mostró la estructura compleja del frente constituido por varias altas de lluvia que aparecen ordenadas a lo largo de una franja de 200 Km de ancho, orientada de noroeste a sudeste y que se desplazaba hacia el noreste.

Rodón y Gordillo (1982) estudiaron una línea de inestabilidad que llamó la atención por los intensos vientos observados tanto en su borde de avance como en su parte posterior, asociados con la formación de una intensa depresión de mesoescala que se generó al noreste de la ciudad de Buenos Aires.

Seluchi y Lichtenstein (1989) examinaron una serie de tormentas severas que produjeron un tornado. La convección se ordenó finalmente en una línea de inestabilidad. La situación sinóptica asociada se caracterizó por el pasaje de un sistema ciclónico por la Patagonia, que provocó flujo del norte sobre el centro del país y un rápido aumento de la inestabilidad. El comienzo de la convección se produjo sobre el frente frío asociado con la depresión patagónica.

Gordillo y Ruibal (1994) analizaron una intensa línea de inestabilidad que afectó con inusual severidad la localidad serrana de San Carlos Minas, provincia de Córdoba. Una combinación de factores tales como la presencia de aire cálido, húmedo e inestable en capas bajas; una perturbación de onda corta en niveles medios y la orografía, produjo el desarrollo de convección profunda con cantidades importantes de precipitación que alcanzó valores superiores a 200 mm en el término de 2 a 6 horas. Una crecida extraordinaria trajo aparejado un aluvión de agua y lodo que en pocas horas destruyó el pueblo y dejó un gran saldo de víctimas y cuantiosos daños materiales.

Saluzzi y Gordillo (1994) estudiaron la situación sinóptica asociada con la línea de inestabilidad que afectó la provincia de Buenos Aires entre el 13 y el 14 de abril de 1993. Dicha línea se desplazó rápidamente, dentro de la provincia y produjo ráfagas de viento entre 35 y 40 m/s y se formaron a lo largo de la misma numerosos mesociclones y tornados. La violencia de los fenómenos convectivos produjo importantes daños materiales, como la caída de más de 100 torres de energía que dejaron sin luz eléctrica a una gran cantidad de pobladores.

Gordillo (1996) examinó una línea de inestabilidad que afectó la zona central del territorio argentino entre los días 1 y 2 de enero de 1984, la que fué captada por un radar M33 instalado en el Aeropuerto de Ezeiza cuando entró en su área de influencia. Con la información del radar meteorológico, el análisis de los sondeos y sus respectivas hodógrafas, la cortante del viento desde la baja a la media tropósfera, entre otros parámetros, se la encuadró de acuerdo con su organización en mesoescala.

Nicolini y Torres Brizuela (1997) realizaron un estudio estadístico de ráfagas de viento máximas en Ezeiza y Resistencia y obtuvieron que en la mayoría de los casos la causante es una línea de inestabilidad. Empleando un modelo de mesoescala y una detallada microfísica de nubes, calcularon la ráfaga máxima para un caso seleccionado y obtuvieron una buena verificación. Además, las autoras comparan con los forzantes de la descendente, como por ejemplo la evaporación de lluvia, la fusión del hielo y la carga de hidrometeoros. Esta última resultó ser el factor más importante en determinados momentos.

## **1.2 Objetivos Propuestos**

### **1.2.1 Consideraciones generales**

Existen en la literatura numerosos trabajos sobre líneas de inestabilidad , la mayoría de los cuales se refieren al Hemisferio Norte.

Las características geográficas de nuestro país y del sur de Sudamérica se evidencian en una llanura limitada hacia el oeste por una verdadera pared orográfica la Cordillera de los Andes, que modifica notablemente los sistemas de presión provenientes del Océano Pacífico.

En consecuencia, las líneas de inestabilidad en la zona central adquieren ciertas características particulares de nuestro país.

El propósito de la presente tesis es estudiar las características particulares de las líneas de inestabilidad en nuestro país, la situación sinóptica asociada y el pronóstico de las mismas.

### **1.2.2 Objetivo General**

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental analizar las características sinópticas de las líneas de inestabilidad en la región central de Argentina.

### **1.2.3 Objetivos Parciales**

1. Estudiar en detalle situaciones de líneas de inestabilidad en nuestro país.
2. Identificar y enumerar en un área de estudio casos de líneas de inestabilidad que se produjeron dentro de ese área .
3. Caracterizar las situaciones sinópticas conducentes a la formación de líneas de inestabilidad dentro del área seleccionada, utilizando los datos del Centro Meteorológico Europeo de Pronóstico a Mediano Plazo.
4. Establecer un conjunto de parámetros observables que puedan utilizarse como predictores en un método objetivo de pronóstico de líneas de inestabilidad.
5. Diseñar dicho método objetivo de pronóstico.

#### 1.2.4 Desarrollo de los objetivos

En el *Capítulo II* se estudian tres líneas de inestabilidad y se determinan los rasgos comunes y no comunes de las respectivas situaciones sinópticas asociada con las mismas.

Con los resultados obtenidos anteriormente, en el *Capítulo III* se selecciona un área de estudio delimitada por los paralelos 30 °S y 40 °S y los meridianos 50 °O y 70 °O a fin de determinar los rasgos más salientes de las líneas de inestabilidad que a su vez, van a servir de base para la selección de predictores de líneas de inestabilidad. Dicha selección se realiza en el Capítulo IV.

En el *Capítulo V*, usando el método de Análisis Discriminante Multivariado, se seleccionan los mejores predictores con el fin de obtener un método objetivo de pronóstico.

## CAPITULO II

### ESTUDIO DE TRES LINEAS DE INESTABILIDAD

*Para contribuir al estudio de las características de las líneas de inestabilidad en la Argentina se han seleccionado tres casos, a fin de señalar algunas variantes en el comportamiento de algunos parámetros meteorológicos, y encontrar rasgos comunes y no comunes en las situaciones sinópticas asociadas con las mismas.*

#### 2. 1 La línea de inestabilidad del 11 de noviembre de 1993

##### *Información utilizada*

Se utilizó la información proveniente de los mapas sinópticos trihorarios de superficie analizados cada 3 horas, existentes en el Servicio Meteorológico Nacional, sondeos aerológicos, análisis diarios de altura geopotencial (12.00 UTC), imágenes de los satélites meteorológicos disponibles y libretas de observación de las estaciones sinópticas de superficie requeridas.

En los análisis de altura el valor de las isohipsas fué tomado en decámetros de altura geopotencial.

##### *Introducción*

El día 10 de noviembre de 1993, una línea de inestabilidad comenzó a manifestarse alrededor de las 18.00 UTC en el centro de la provincia de Córdoba.

Se formó dentro de una masa de aire cálido y húmedo al norte de un complejo sistema frontal sobre el cual se desarrolló una depresión asociada con una vaguada en la tropósfera media y superior que se acercaba desde el Océano Pacífico.

La línea se desplazó hacia el noreste, desarrollando intensa actividad convectiva (a juzgar por los fenómenos meteorológicos observados). A medida que fué acercándose al norte de Córdoba, la intensidad de los fenómenos meteorológicos fueron en notable aumento, como la intensidad de ráfagas (máxima registrada de 27 m/s en Rio Cuarto), el descenso de temperatura (18°C en Villa Dolores) y cantidad de precipitación (300 mm en Estancia La Trinidad).

### 2.1.1 Situación sinóptica

*10 de noviembre de 1993 a las 12.00 UTC*

El día 10 de noviembre de 1993 a las 12.00 UTC, un frente caliente en el centro de la provincia de Buenos Aires separa una masa de aire cálido y húmedo con vientos predominantes del sector noreste, que ocupa la zona norte y central del país de otra más fría, en tanto que un frente frío al norte de la Patagonia se desplaza hacia el noreste delante de una masa de aire frío y seco en superficie (Fig. 2.1).

En 850 hPa (Fig. 2.2) una lengua de aire cálido, húmedo e inestable asociada con una corriente en chorro de dirección norte se dirige desde el norte hacia el centro del país. El análisis de la cantidad de agua precipitable en la misma figura muestra que, aparentemente, el eje de máximo valor que se encuentra entre 35 y 45 mm, se halla algo desplazado hacia el este de la corriente en chorro en capas bajas.

En 700 hPa (Fig. 2.3) la corriente del noroeste sobre el centro del país es perturbada por una vaguada de onda corta cuyo eje, orientado OSO – ENE, pasa por la cercanía de Santa Rosa y Buenos Aires.

En 500 hPa, una vaguada se desplaza hacia la costa chilena en el sector comprendido entre 30 y 40 °S (Fig.2.4), en tanto que en el espesor 1000/500 hPa (no se muestra) una intensa zona baroclínica se ubica entre Santa Rosa y Neuquén, y una menos baroclínica, en la zona central y norte del país.

En el nivel de 250 hPa (Fig.2.5) se observan dos corrientes en chorro, una que penetra a la altura de la estación chilena Quintero hacia la zona central de la Argentina y otra que asociada al frente frío se ubica al norte de Neuquén y sud de Buenos Aires.

Vientos intensos del sector noroeste en Quintero favorecen el desplazamiento hacia el este de la masa de aire seco que se manifiesta en Córdoba, en cuyo sondeo el perfil de la curva de temperatura potencial equivalente denota inestabilidad convectiva entre 710 y 600 hPa (Fig.2.6).

En la Figura 2.7 aparece un esquema de la corriente en chorro en 850 hPa y la corriente en chorro en 250 hPa que intersectan en la estación meteorológica Santa Rosa, la que tiene un alto índice de inestabilidad “Total - Totals” =52 (Anexo 2 : detalle de índices de inestabilidad usados). Con la proximidad de una vaguada que se acercaba desde el oeste en la tropósfera media y superior y la fuerte inestabilidad

de la masa de aire en la zona central del país, estaban dadas las condiciones para el desarrollo de convección profunda .

### *Análisis detallado de superficie*

La línea de inestabilidad comenzó a manifestarse en el centro de la provincia de Córdoba a las 18.00 UTC del día 10 de noviembre (Fig. 2.8) , al norte del sistema frontal , dentro de un entorno cálido y húmedo.

A las 21.00 UTC la línea de inestabilidad traspone la ciudad de Córdoba. Sobre el frente caliente ubicado en el centro de la provincia de Buenos Aires , se ha desarrollado un centro de baja presión de 999.0 hPa en 36° S y 63° O en respuesta a la vaguada que a las 12.00 UTC penetraba desde el Pacífico (Fig.2.9).

A las 00.00 UTC (Fig. 2.10) aumenta la intensidad de los vientos de dirección sudeste en las proximidades del frente caliente a 10 y 15 m/s , debido a la intensificación de la depresión mencionada anteriormente, en tanto que la línea de inestabilidad sigue su desplazamiento hacia el noreste afectando el sud de las provincias de Santa Fe , Entre Ríos y norte de Buenos Aires.

El frente frío continúa su avance hacia el noreste con actividad convectiva y algunas tormentas eléctricas en el sudoeste de la provincia de Córdoba y norte de la provincia de Buenos Aires , precedido por la línea de inestabilidad , que afecta a las 03.00 UTC y 06.00 UTC el norte de las provincias de Córdoba, Santa Fe , Entre Ríos y el sud de la R. O. Del Uruguay (Figs. 2.11 ; 2.12).

La línea de inestabilidad en su desplazamiento hacia el noreste incrementa su extensión hacia el sud, afectando a las 09.00 UTC la provincia de Santa Fe, Entre Ríos y sud-este de la R. O. Del Uruguay (Fig. 2.13).

### *11 de noviembre de 1993 a las 12.00 UTC*

El día 11 a las 12.00 UTC, el frente frío pasa por Córdoba, Marcos Juárez y Junín, y la depresión asociada se encuentra en la proximidad de Mar del Plata (Fig. 2.14 ) , mientras que la línea de inestabilidad, en su trayectoria hacia el noreste, alcanza el sud de la provincia de Santiago del Estero, norte de Entre Ríos y el sector sudoeste de la República Oriental del Uruguay.

La actividad convectiva está concentrada dentro de la lengua de aire cálido, húmedo e inestable en 850 hPa, dentro de la cual se observa una corriente en chorro en capas bajas de dirección norte ( Fig. 2.15).

El eje de máxima cantidad de agua precipitable se desplazó aparentemente , hacia el este con respecto al día anterior, incrementando los valores que alcanzan 40,3 mm en Resistencia y 40,1 mm en Ezeiza . Entre Santa Rosa y Neuquén, el intenso gradiente de la temperatura potencial equivalente es coincidente con la posición del sistema frontal en superficie.

En 700 hPa , la perturbación del día anterior se ha desplazado hacia el este encontrándose sobre el meridiano 58° O (Fig. 2.16) , en tanto que en 500 hPa la vaguada ocupa la parte central del país en 68° O (Fig. 2.17) .

En 250 hPa el máximo de la corriente en chorro se encuentra sobre Santa Rosa (Fig. 2.18).

#### *Análisis detallado de superficie*

En el análisis detallado de superficie de las 15.00 UTC (Fig.2.19), se destacan la formación de un mesociclón en el extremo sud de la línea cerca de la estación de Santa Teresita y los vientos totalmente ageostróficos que convergen hacia la misma.

En tanto, la depresión asociada con la onda frontal se ha desplazado hacia el sud de Mar del Plata con un aumento de los vientos que la circundan. Tanto este sistema como el mesociclón ya mencionado se hallan ubicados debajo de la vaguada de onda corta antes mencionada (Fig. 2.18).

### **2.1.2 Características particulares de la línea**

#### *Análisis temporales*

En la fig. 2.20 se reproduce el mapa con la topografía de la zona afectada por la línea de inestabilidad .

El análisis temporal correspondiente a tres estaciones de la provincia de Córdoba Córdoba, Río Cuarto y Villa Dolores , pueden observarse en la figura 2.21.

Al extenderse lateralmente la actividad convectiva de la línea de inestabilidad, se observa en Río Cuarto un descenso de la temperatura de 8,5° C, tormentas y ráfagas intensas del sector noreste a 27 m/s entre las 20.00 y 21.00 UTC del día 10 de noviembre.

La estación meteorológica Córdoba a las 21.00 UTC del día 10 de noviembre registra el pasaje de la línea con tormentas intensas , cambio de viento del sector noreste 23 m/s al sector sudeste 12 m/s , un brusco descenso de temperatura de 16° C y un aumento de la presión de 6 hPa.

La topografía de la zona produce el retraso del pasaje de la línea por Villa Dolores, situada al oeste de la Sierra Grande de Córdoba, donde entre las 00.00 y 03.00 UTC del día 11 de noviembre se observa una caída en la temperatura de 18° C , cambio en la dirección del viento al sector sud y un aumento en la presión de 4 hPa.

### *Isocronas*

El seguimiento cada tres horas de la línea de inestabilidad muestra que a partir de las 21.00 UTC , cuando la línea estaba bien definida, sigue una trayectoria hacia el norte a 11 m/s , para luego cambiar hacia el noreste a 15,4 m/s (Fig.2.22).

Del trazado de isocronas puede observarse cómo la línea fue aumentando su extensión hacia el sud, llegando a alcanzar a las 15.00 UTC del día 11 el este de la provincia de Buenos Aires.

### *Descripción de imágenes*

A las 18.00 UTC del día 10 de noviembre , comienzan los primeros indicios de formación de la línea de inestabilidad en el centro de la provincia de Córdoba, la que puede observarse en la imagen Met-3 (IR) de la órbita de 18.00UTC(Fig. 2.23).

La imagen Met-3 (IR) de las 21.00 UTC del mismo día, muestra cómo la actividad convectiva se ha extendido hacia el norte de la provincia de Córdoba , sud de Santa Fe y oeste de Buenos Aires ( Fig. 2.24).

La imagen Met-3 (IR) de las 03.00 UTC del día 11, muestra una extensión de la actividad convectiva hacia la provincia de La Rioja (Fig. 2.25)

El campo de isotermas extraídas de la imagen NOAA-12 (IR) correspondiente a las 10.38 UTC del día 11 de noviembre (Fig. 2.26), muestra a la isoterma de -52° C que acompaña hacia el este la línea de inestabilidad , mientras que por detrás, otro núcleo térmico de -52° C , corresponde a la actividad convectiva sobre las sierras de Córdoba, producida por la proximidad del frente frío.

### **2.1.3 Descripción de los factores que determinaron la inundación de Mina Clavero**

#### *Introducción*

A fin de precisar con detalle las características de la zona más afectada por la línea de inestabilidad del 10 y 11 de noviembre de 1993, se describe la topografía de la zona más afectada, los caudales aforados, la cantidad de precipitación producida y testimonios de habitantes recogidos en la zona.

#### *Ubicación geográfica de ocurrencia de la inundación repentina*

La cuenca del río Mina Clavero tiene sus nacientes en la vertiente occidental de las Cumbres de Achala, a una altitud promedio de 2.200 metros sobre el nivel del mar. Está compuesta por tres subcuencas, la de los ríos Del Sauce, Las Manzanas y Hondo, que totalizan una superficie de 175 kilómetros cuadrados.

El río Mina Clavero desciende de este a oeste hacia la depresión de Mina Clavero, sufriendo un brusco cambio por acción de la falla principal. Luego de un corto recorrido confluye frontalmente con el río Panaholma, a partir de donde se genera el río Los Sauces, que desemboca en el embalse La Viña. Desde las nacientes a 2.262 metros sobre el nivel del mar hasta la confluencia con el río Panaholma, el curso principal tiene una longitud de 17 kilómetros.

El paisaje se caracteriza por el marcado predominio de las formas escarpadas con vegetación natural compuesta de especies arbóreas del monte serrano en los niveles más bajos, arbustivas en los medios y herbáceas en los más altos (Fig. 2.27).

Tales condiciones de la cuenca de aporte determinan un bajo grado de permeabilidad, alta densidad de drenaje y alta velocidad de escorrentía, lo que predispone al sistema a la generación de crecientes repentinas y violentas debido a precipitaciones intensas producidas por lo general por actividad convectiva severa.

La ciudad de Mina Clavero está localizada a la salida de la cuenca y se extiende una parte en la zona baja de la pendiente y la otra sobre la parte oriental de la depresión.

En el primer tramo, el río Mina Clavero discurre encajonado en una quebrada controlada estructuralmente por una falla transversal de dirección este-oeste. En este tramo, el río no ha generado inundación; esto determina una importante condición natural de estabilidad ante la ocurrencia de crecientes extraordinarias por el hecho de que las aguas de crecida, si bien tienen un desarrollo vertical significativo. Más abajo el río ha labrado un lecho de inundación anual y un lecho episódico bien definidos, lo que determina que en las crecidas predomine el desarrollo horizontal sobre el vertical.

### *Estudio de las precipitaciones en la cuenca del río Mina Clavero*

La figura 2.28 corresponde al plano de isoyetas de la cuenca del río Los Sauces, que se forma con los ríos Panaholma, Mina Clavero y Nono, cuya superficie es de 860 kilómetros cuadrados y corresponde a las precipitaciones producidas entre el 10 y el 11 de noviembre de 1993.

El punto de mayor relevancia en cuanto a cantidad de precipitación fue la región correspondiente a la Estancia Trinidad, ubicada a 2.200 metros de altura en las Sierras Grandes. En el lapso de cuatro horas, entre las 23.00 hs del 10 y las 03.00 hs del 11 de noviembre, se registraron 300 mm de precipitación.

En el nacimiento del río Mina Clavero, el registro fue de 180 mm entre las 23.00 hs del día 10 y las 02.00 hs del día 11. En promedio, todas las estaciones de la cuenca superaron los 100 mm entre las 23.00 hs del 10 y las 04.00 hs del día 11 de noviembre.

#### **2.1.4 Dinámica de la inundación del 10-11 de noviembre de 1993**

En la noche del 10 y la madrugada del 11 de noviembre de 1993, el pasaje de la línea de inestabilidad produjo intensas precipitaciones que afectaron la vertiente occidental de las Cumbres de Achala en la zona que tienen sus nacientes los ríos Mina Clavero y Nono. El promedio de la precipitación en las zonas aledañas a la alta cuenca fue de 165 milímetros en tres horas (lo que certifica la ocurrencia de un fenómeno de gran magnitud).

El pico de la creciente ingresó a la ciudad de Mina Clavero con un caudal estimado de 2.200 m<sup>3</sup>/seg.

La zona considerada de máximo riesgo por avance frontal de las crecidas se localiza aguas arriba de la confluencia de los ríos Mina Clavero y Panaholma, sobre la parte interna de la curva que el río describe en el centro del área urbana (margen norte) y en el sector de dicha confluencia. Los sectores restantes (margen sur), son afectados por anegamiento.

Aguas abajo de la confluencia, la situación de riesgo decrece por el hecho que las áreas inundables lo son por anegamiento y están muy poco pobladas.

#### *Caudales aforados*

En la estación de Mina Clavero (La Toma) el caudal fue de 2.371 m<sup>3</sup>/seg en dos horas en tanto que en Mina Clavero (Ruta 14) fue de 2.145 m<sup>3</sup>/seg en dos horas y quince minutos.

Aunque la precipitación en el río Panaholma (Cura Brochero) fue importante, el caudal aforado fué de 417 m<sup>3</sup>/seg. Aguas abajo, en el Chico del Nono (Puente), el caudal aforado fue de 690 m<sup>3</sup>/seg.

Cabe consignar que el río Mina Clavero, con su nacimiento en las altas cumbres, recibió el aporte de la precipitación caída en la Estancia Trinidad (300 mm en cuatro horas), y en su recorrido pendiente abajo el aporte de varios arroyos, por cuanto el caudal aforado en el puesto denominado Mina Clavero (La Toma) fue el máximo de la cuenca (Fig.2.29).

Al desembocar el río en la zona llana de la localidad de Mina Clavero fue donde, debido al aluvión de agua, piedras y lodo acarreado por el río, se produjo la inundación y la rotura del puente que une esta ciudad con la localidad de Cura Brochero.

### **2.1.5 Comentarios de diarios**

#### *Testimonios*

La inundación que sufrió Mina Clavero entre el día 10 y 11 de noviembre de 1993, aunque de escala menor a la que arrasó San Carlos Minas el 6 de enero de 1992, se debió a la creciente del río homónimo por las intensas precipitaciones producidas en las altas cumbres. Se destruyeron tres puentes y se cubrieron de lodo treinta comercios, provocando pérdidas económicas millonarias ( Figs. 2.30; 2.31).

La unión de ambas corrientes, debido a que la creciente del río Panaholma fue más rápida, actuó como barrera de contención a la masa de agua que traía el río Mina Clavero, lo que motivó que éste aumentara aún más su caudal, dando origen a la destrucción del puente “Los Cajones”, lo cual dejó incomunicadas a Mina Clavero y a Cura Brochero.

La masa de agua y lodo avanzó hacia el centro de la pequeña población en horas de la madrugada, dejando a Mina Clavero y localidades aledañas sin agua potable y energía eléctrica. Debieron ser evacuadas 220 personas, 70 de las cuales eran de la localidad de Cura Brochero.

También la ciudad de Córdoba fue afectada por lluvia intensa, hasta el punto de que la precipitación registrada 121.8 mm en 24 horas) fue la tercera más importante de los últimos 120 años. Históricamente le preceden la precipitación caída en la noche del 18 al 19 de octubre de 1939, con 136 mm, que inundó buena parte de la ciudad y ocultó bajo las aguas la cañada; y la producida en las últimas horas del día 6 y primeras del día 7 de marzo de 1975, cuando la cantidad de agua caída fue de 129,8 mm.

La similitud entre el fenómeno ocurrido en 1975 y el de 1993 fue que en ambos casos se trató de tormentas con granizo y lluvias, pero además fueron las dos únicas oportunidades en 120 años en que las ráfagas más intensas provenían del sector este, en 1975 a razón de 63 m/s y en 1993 a 43 m/s.

El río Mina Clavero superó en su crecida dos metros con respecto a su marca anterior de enero de 1981.

La línea de inestabilidad también afectó la localidad de Toledo ubicada a unos veinticinco kilómetros al sudeste de la capital provincial, con ráfagas de viento muy intensas. Un propietario de silos en la zona rural de dicha localidad relató que un transportador montado sobre una noria de unos diez metros de altura, a pesar de sus veinticinco metros de largo y varias toneladas de peso, “voló” y cayó a unos sesenta metros de distancia.

La intensidad del viento fue estimada como superior a 100 m/s ; las fuertes ráfagas de viento provocaron además fisuras en varios edificios y destruyeron buena parte de las redes eléctricas y telefónicas pertenecientes a la Cooperativa de Servicios de Toledo.

El fenómeno provocó además pérdidas totales en la cosecha fina además de voladura de techos y silos.

Operarios de la empresa Transener, responsable de las líneas de cargas de 500 Kv del Sistema Interconectado Nacional, procedieron a remplazar cuatro torres destruidas totalmente y reparar dos averiadas ubicadas en el tramo Almafuerte - Malvinas Argentinas, por lo cual las localidades mencionadas anteriormente, más Recreo (Santiago del Estero) y El Bracho (Tucumán), debieron abastecerse de energía generada localmente. En la localidad de Villa Carlos Paz, debido a la crecida del río San Antonio, se produjo el anegamiento del casco céntrico. La ciudad careció de agua potable debido al taponamiento de la toma de agua con arena acarreada por el río .

### 2.1.6 Conclusiones

La línea de inestabilidad del día 10 de noviembre de 1993 comenzó a manifestarse alrededor de las 18 UTC en el centro de la provincia de Córdoba, al norte de un complejo sistema frontal sobre el que se formó una onda durante el ciclo de vida de la línea.

La masa de aire donde se formó la línea era cálida, húmeda e inestable con una temperatura potencial equivalente promedio de 340 °K en niveles bajos separada por una inversión convectivamente inestable de una masa de aire superior seca con una temperatura potencial equivalente de 325°K.

En la generación de la línea de inestabilidad intervinieron como factores predominantes la corriente en chorro de dirección norte en 850 hPa que aportaba aire cálido, húmedo e inestable hacia la zona central del país; una perturbación ciclónica en niveles medios que penetraba desde el Pacífico introduciendo aire relativamente más frío y seco y una corriente en chorro en 250 hPa que penetraba por Quintero (Chile) superponiéndose a la corriente en chorro en niveles bajos en un área donde los valores del índice de inestabilidad “TT” eran superiores a 50.

El obstáculo orográfico que representan las sierras de San Luis y Córdoba influenciaron en el desarrollo de actividad convectiva severa, la que produjo una precipitación de 300 mm en Estancia Trinidad, localidad ubicada a 2.200 metros en las Sierras Grandes de Córdoba, lo que trajo aparejado serios daños socio-económicos en la región central del país.

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

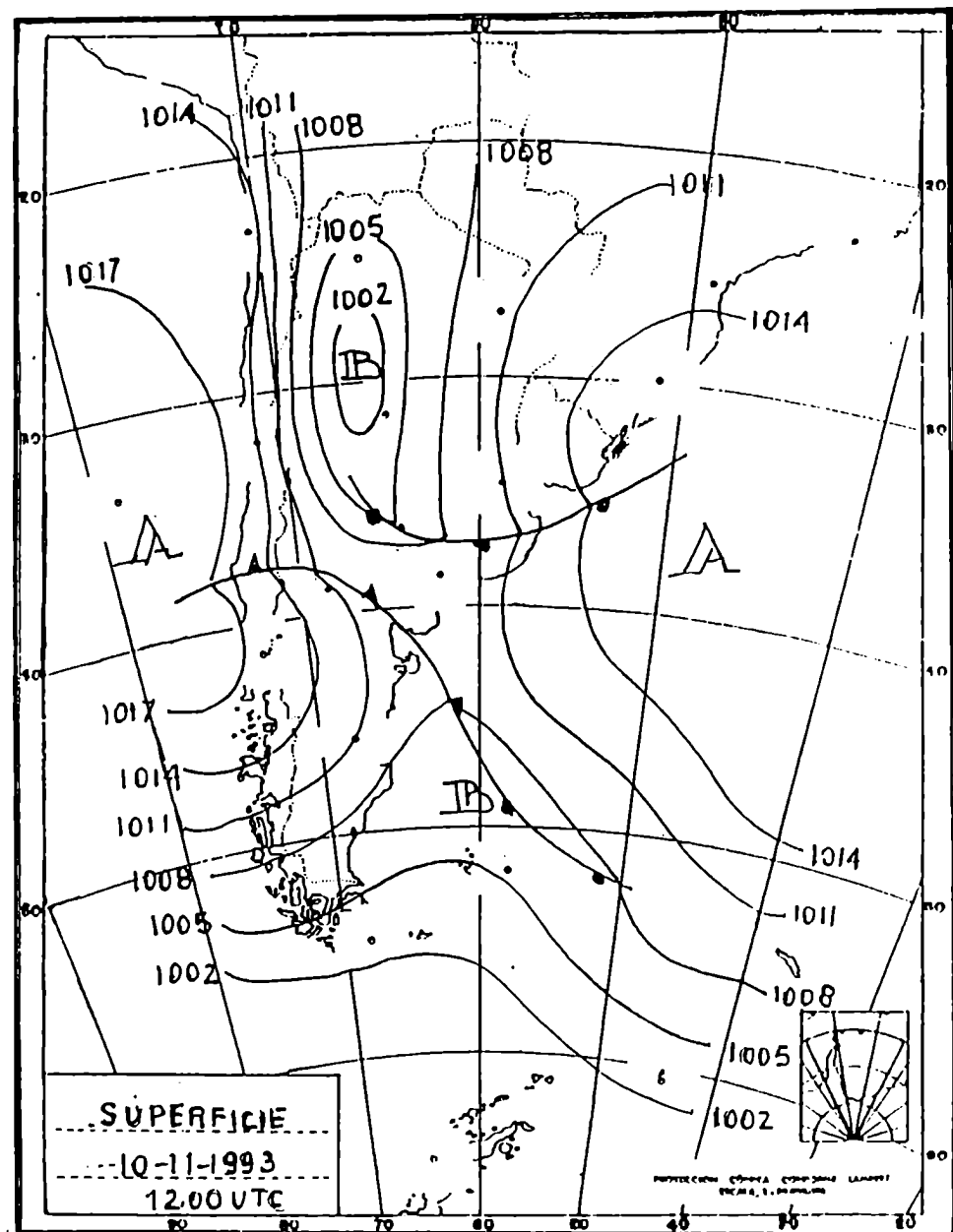
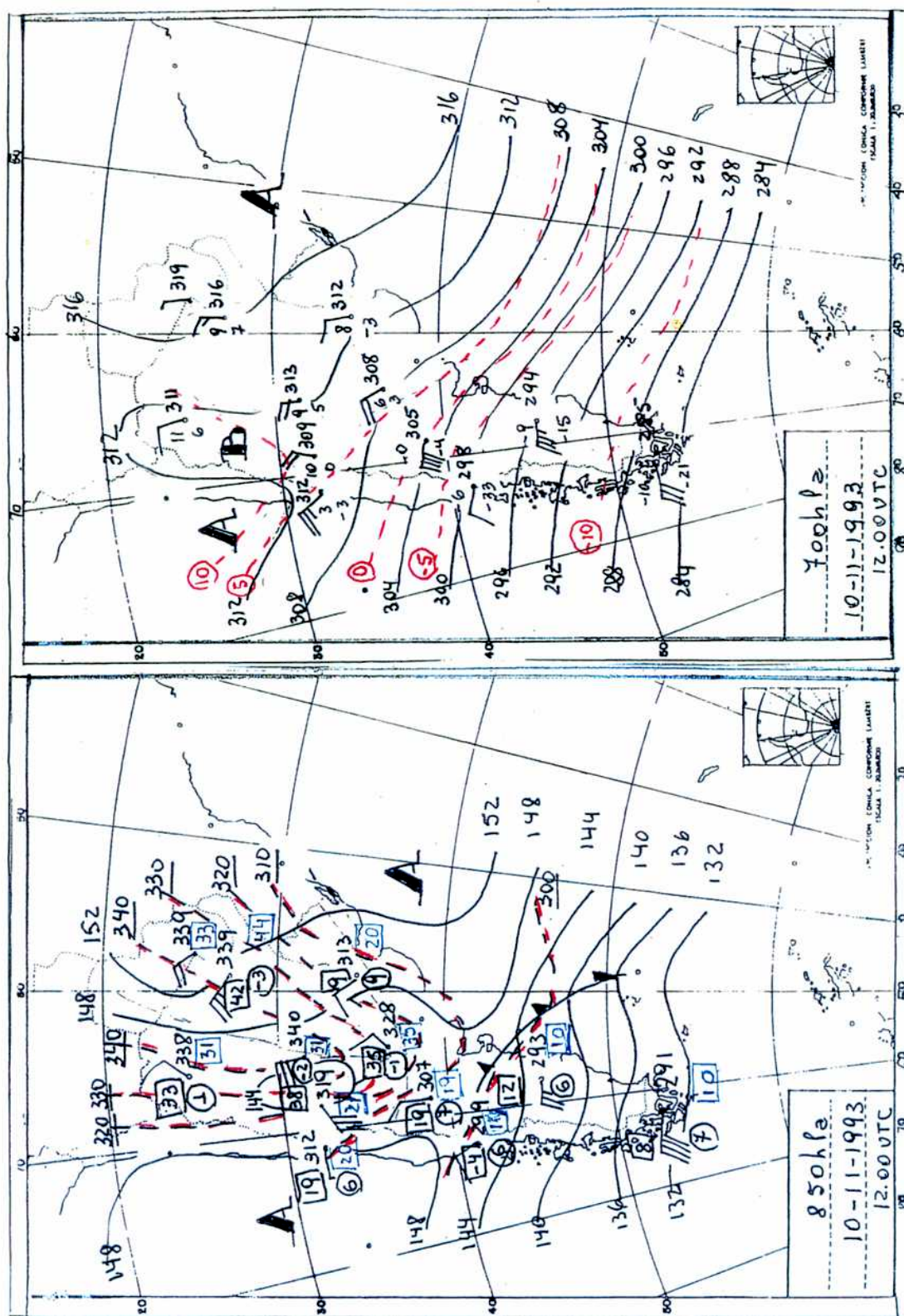


Figura 2.1: Análisis del mapa de superficie (hPa) del día 10 de noviembre de 1993 12.00 UTC

# Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad



Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

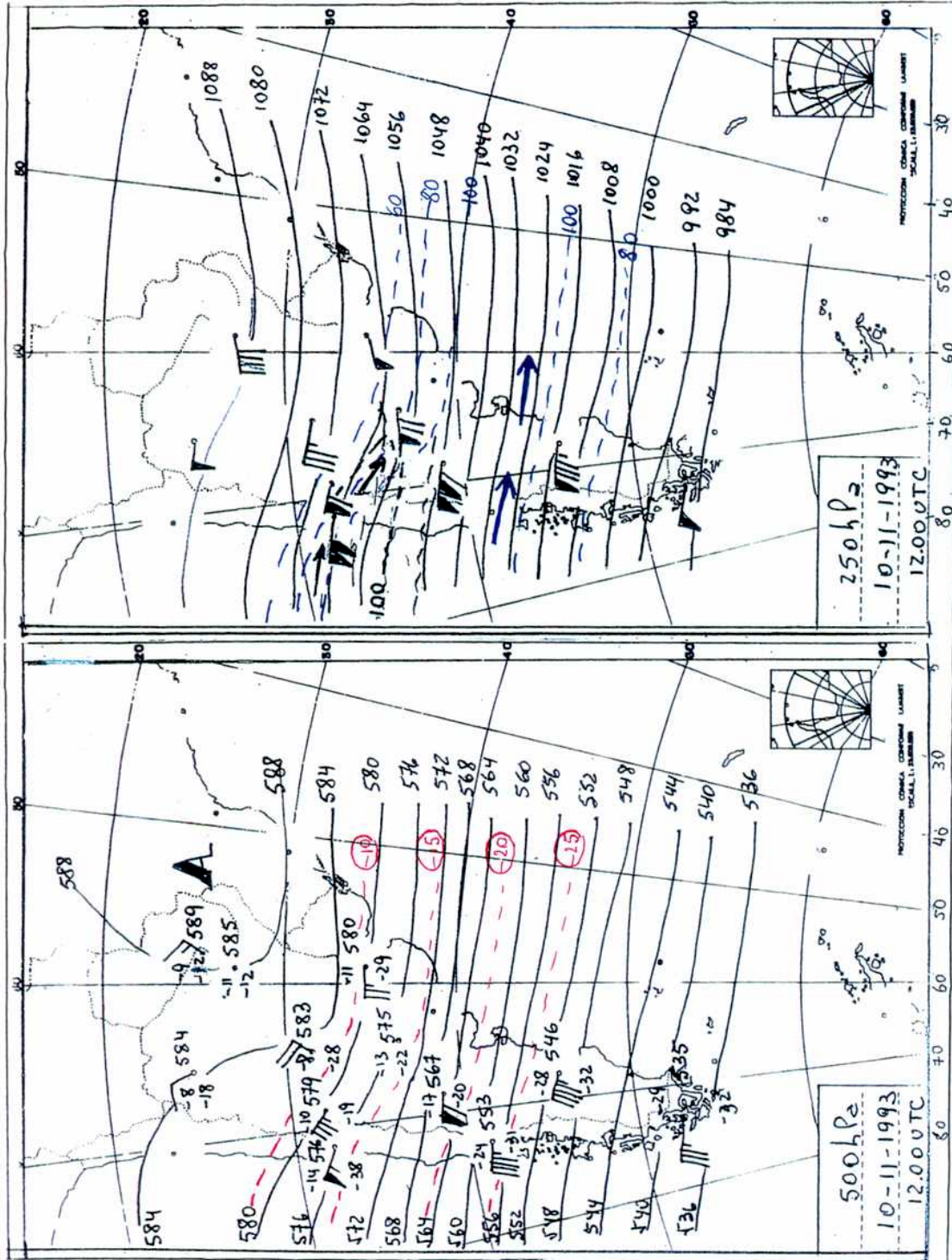


Fig. 2.4 Análisis de alturas geopotenciales 500 hPa

----- Isothermas

Fig. 2.5 Análisis de alturas geopotenciales de 250 hPa

----- Isotacas

## Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad

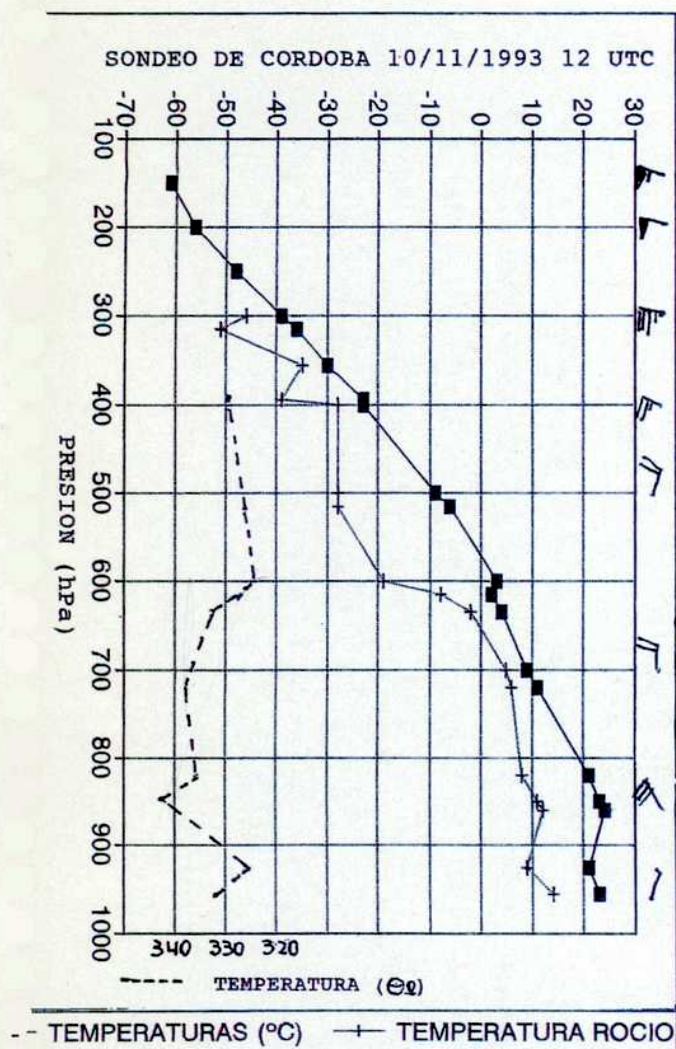


Fig. 2.6 Radiosondeo de Córdoba

- Temperatura
- +--+-- Punto de rocío
- - - - - Temperatura potencial equivalente

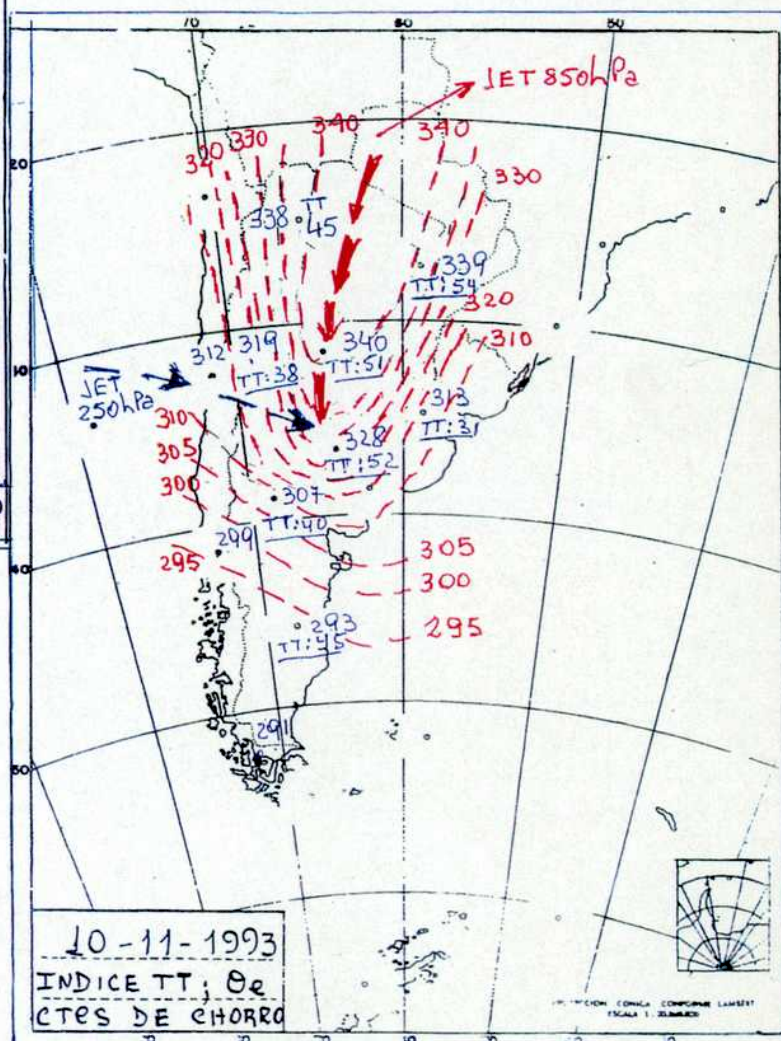


Fig. 2.7 Análisis de 850 hPa

- Temperatura Potencial Equivalente
- TT Índice de inestabilidad "Total-Total"
- → Cte. en chorro en 850 hPa
- → Cte. en chorro en 250 hPa

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

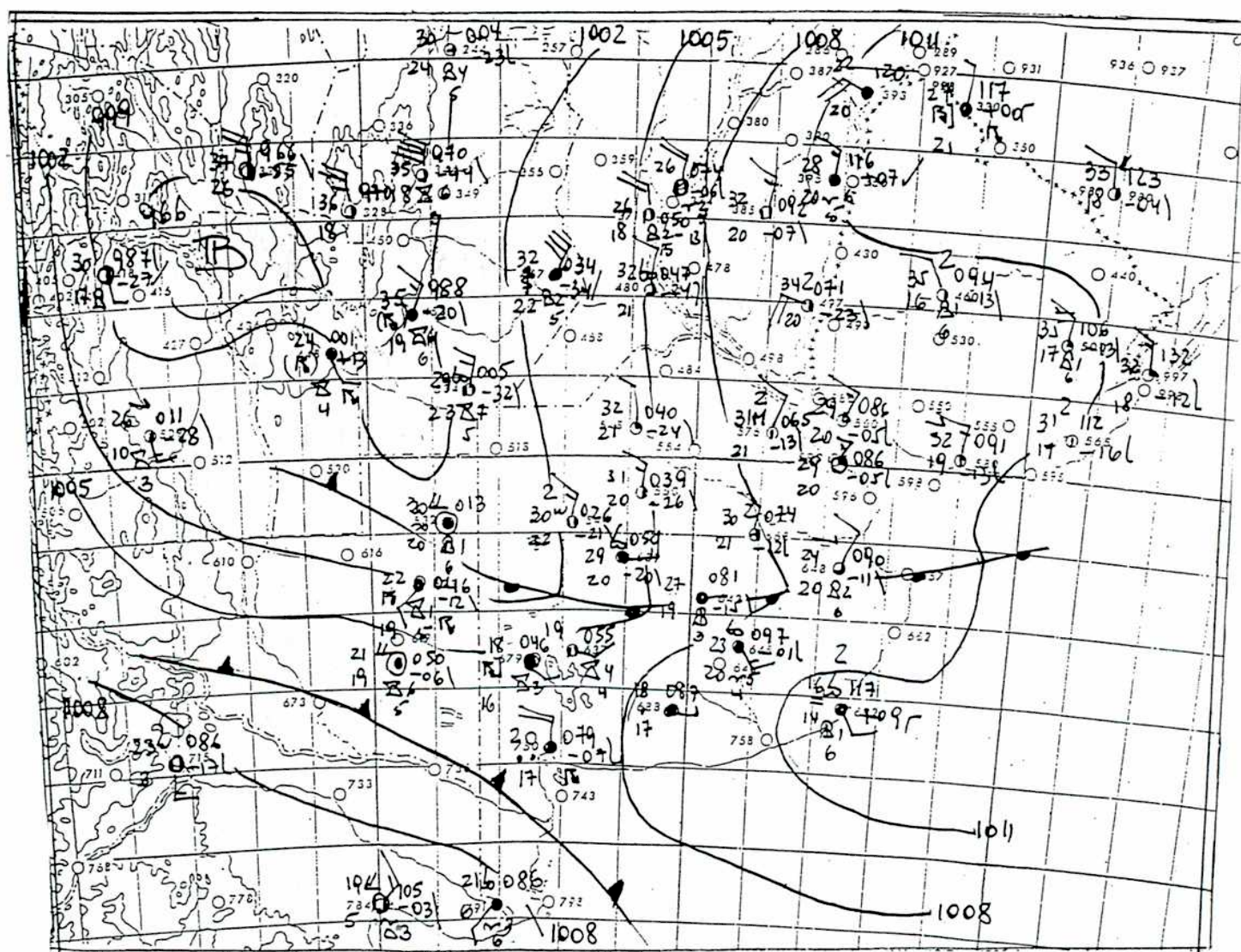


Fig.2.8: Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 10 de noviembre de 1993 18.00UTC

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

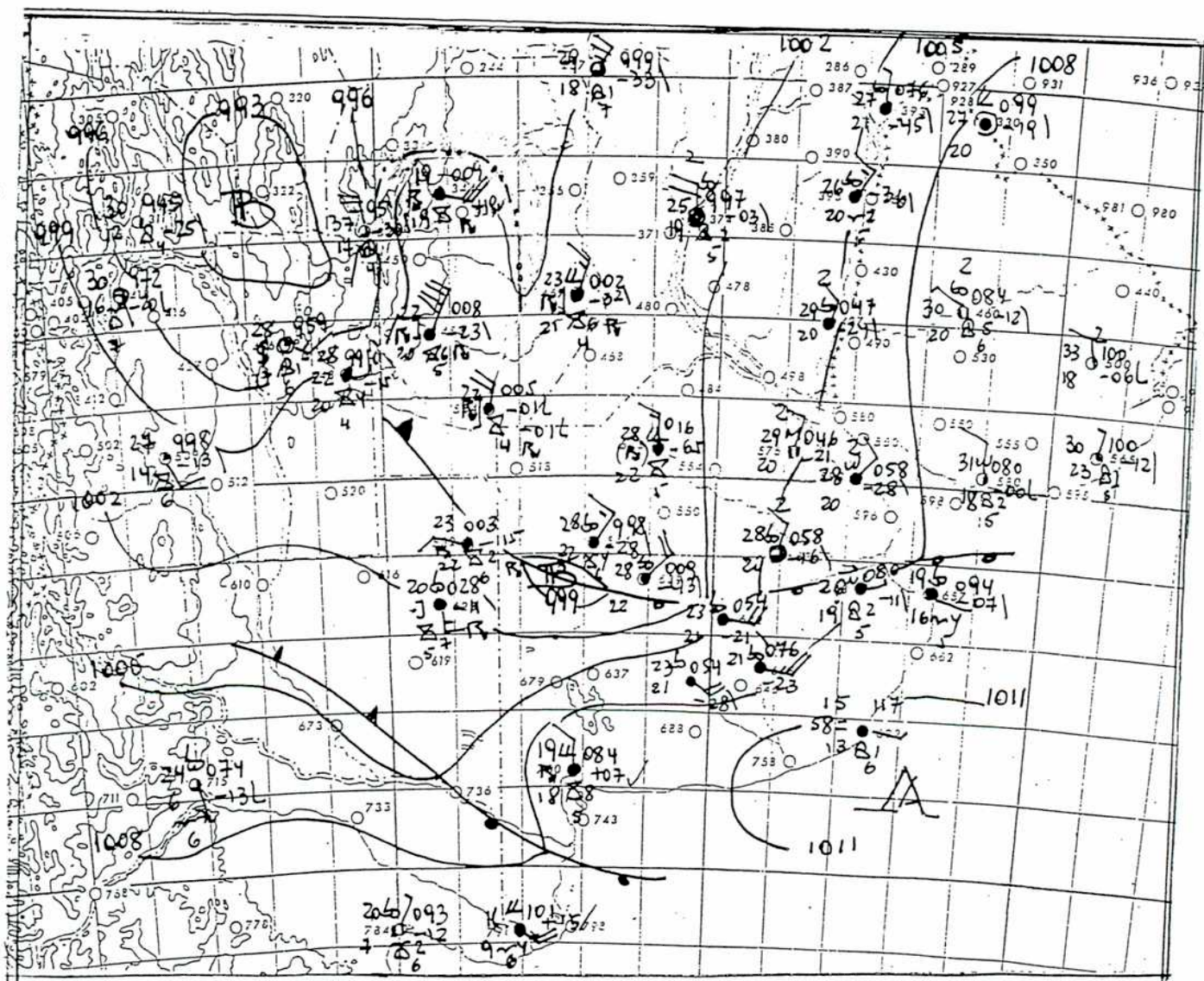


Fig.2.9: Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 10 de noviembre de 1993 21.00UTC

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

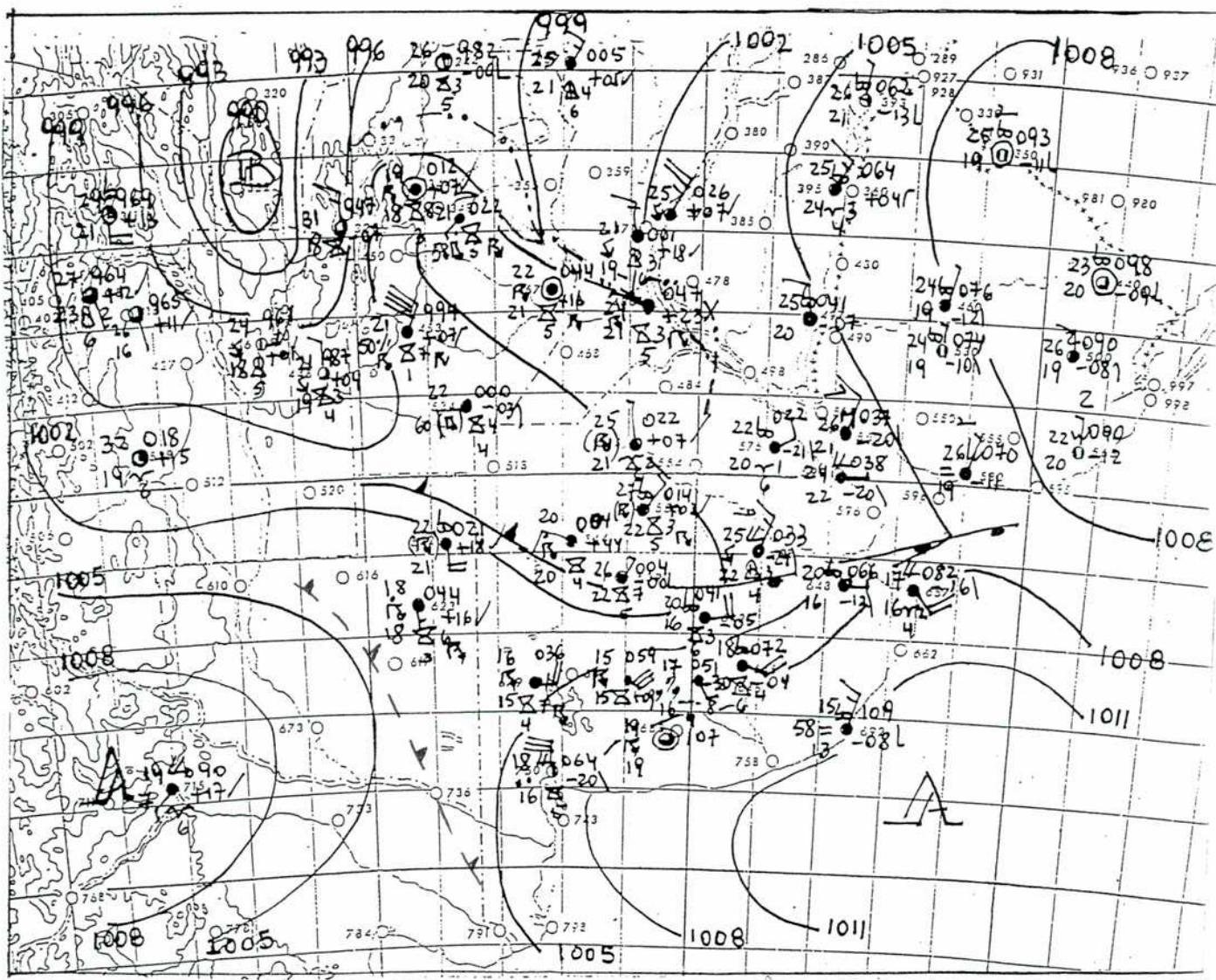


Fig.2.10: Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 11 de noviembre de 1993 00.00UTC

## Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad

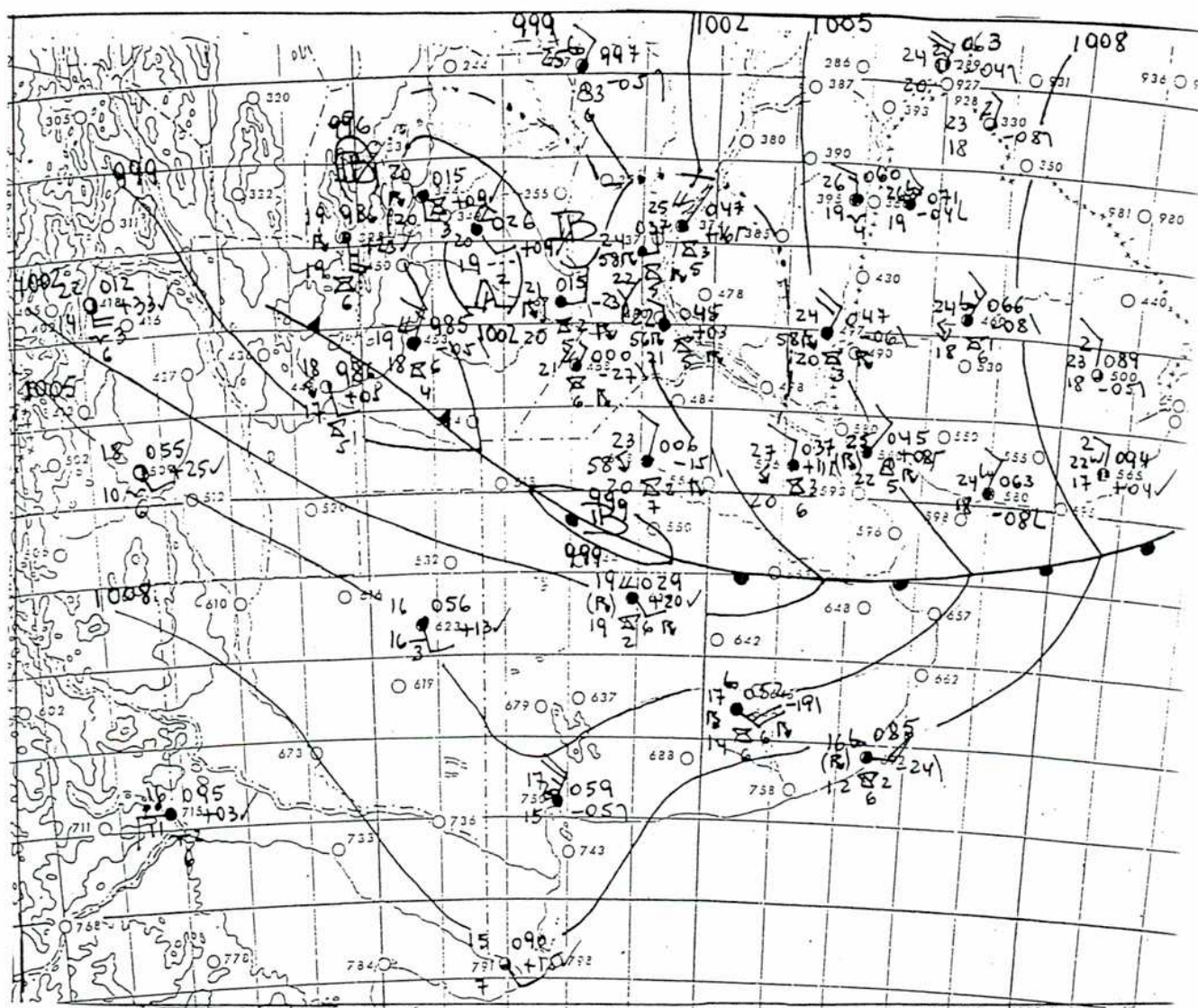


Fig.2.11 :Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 11 de noviembre de 1993 03.00UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad

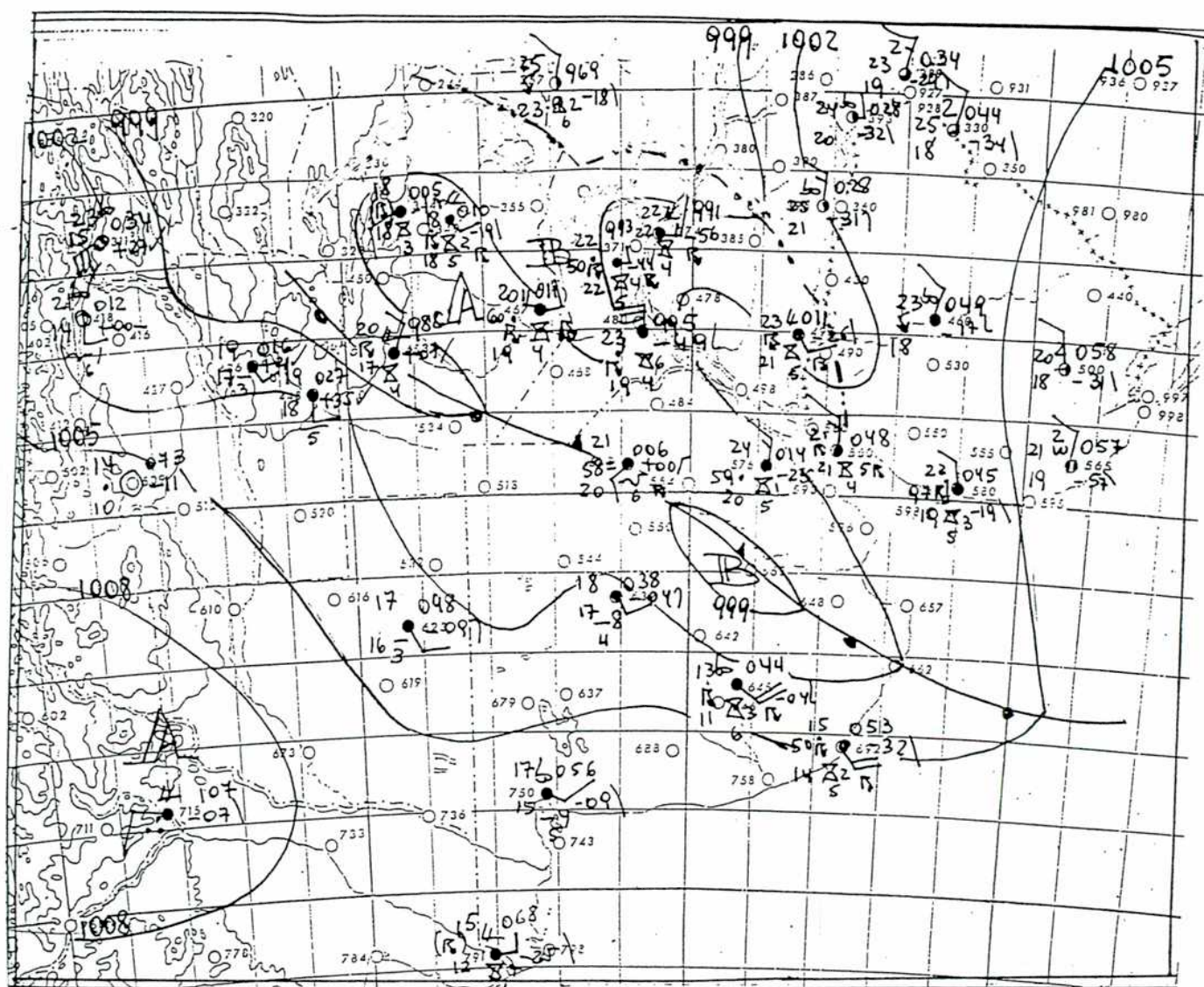


Fig.2.12 Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 11 de noviembre de 1993 06.00UTC

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

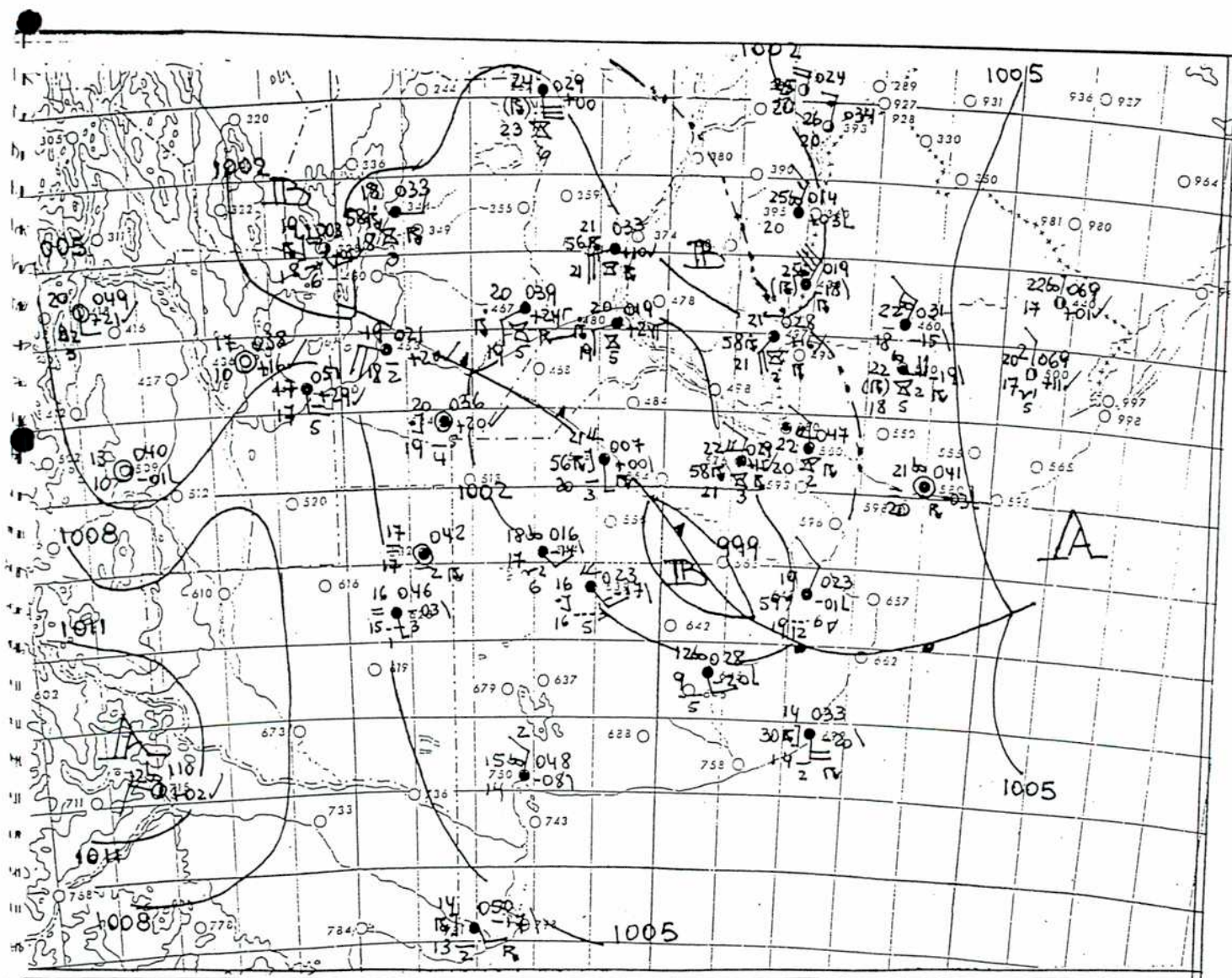


Fig.2.13 Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 11 de noviembre de 1993 09.00UTC

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

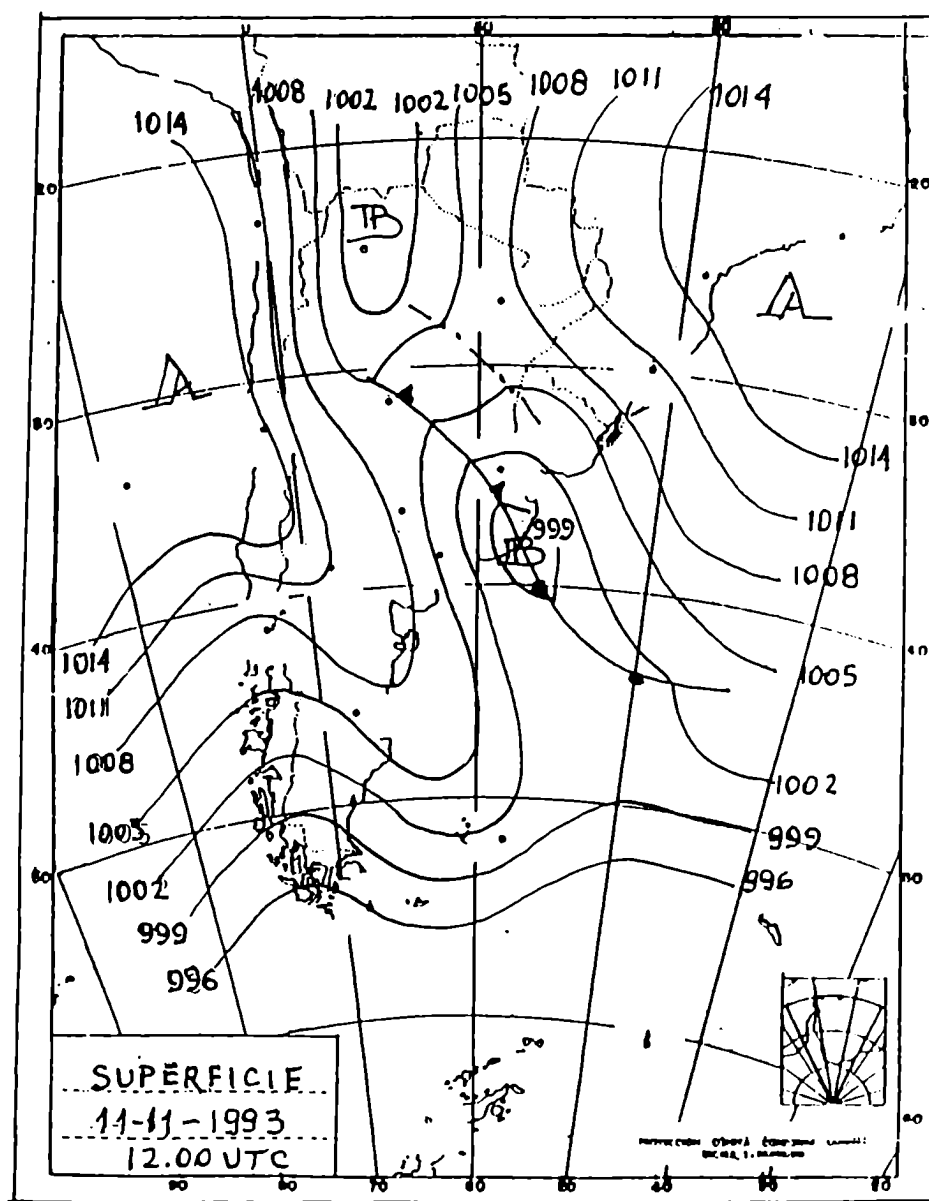
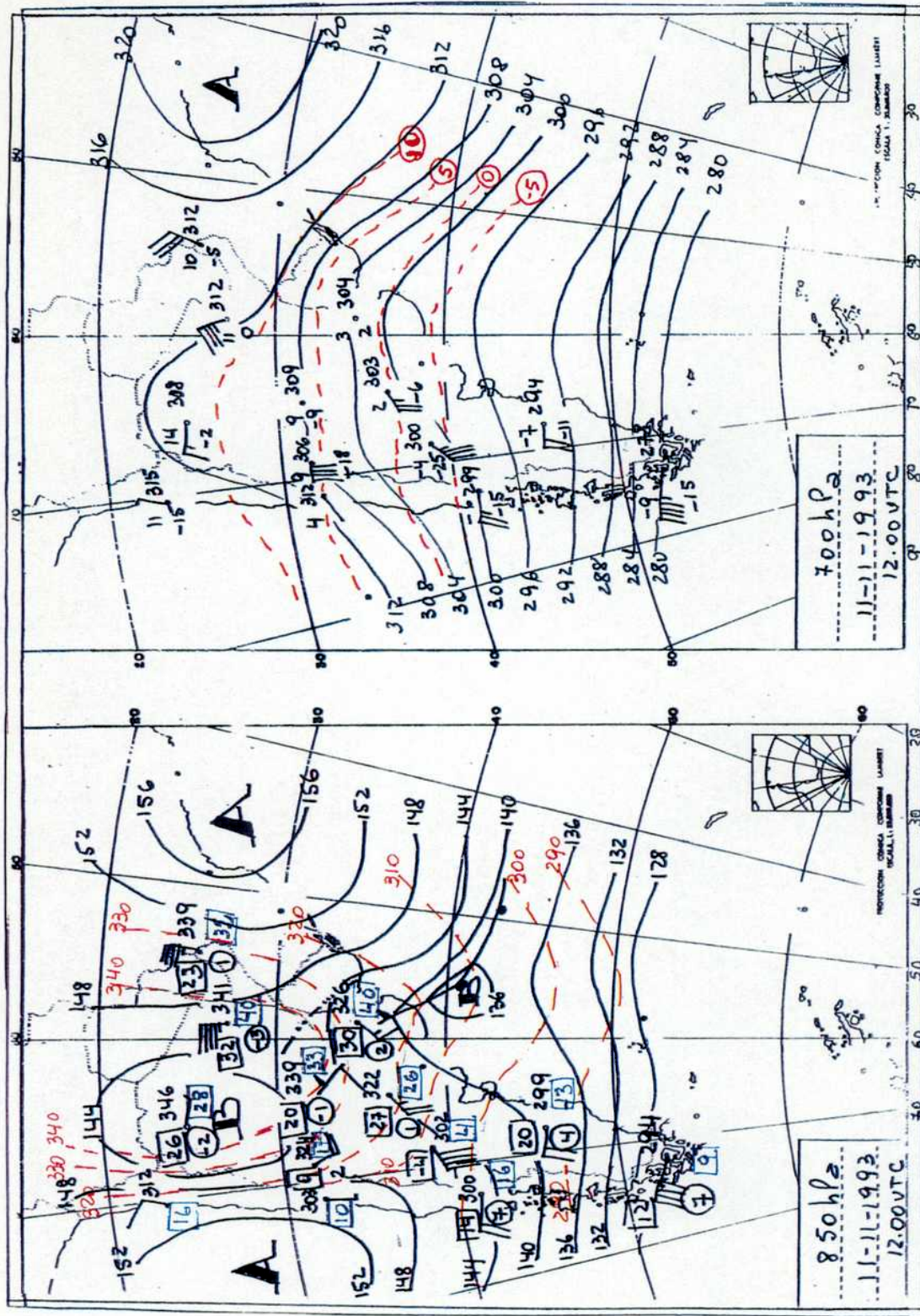


Fig.2.14:Análisis del mapa de superficie(hPa) del día 11 de noviembre de 1993 12.00UTC

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad



# Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

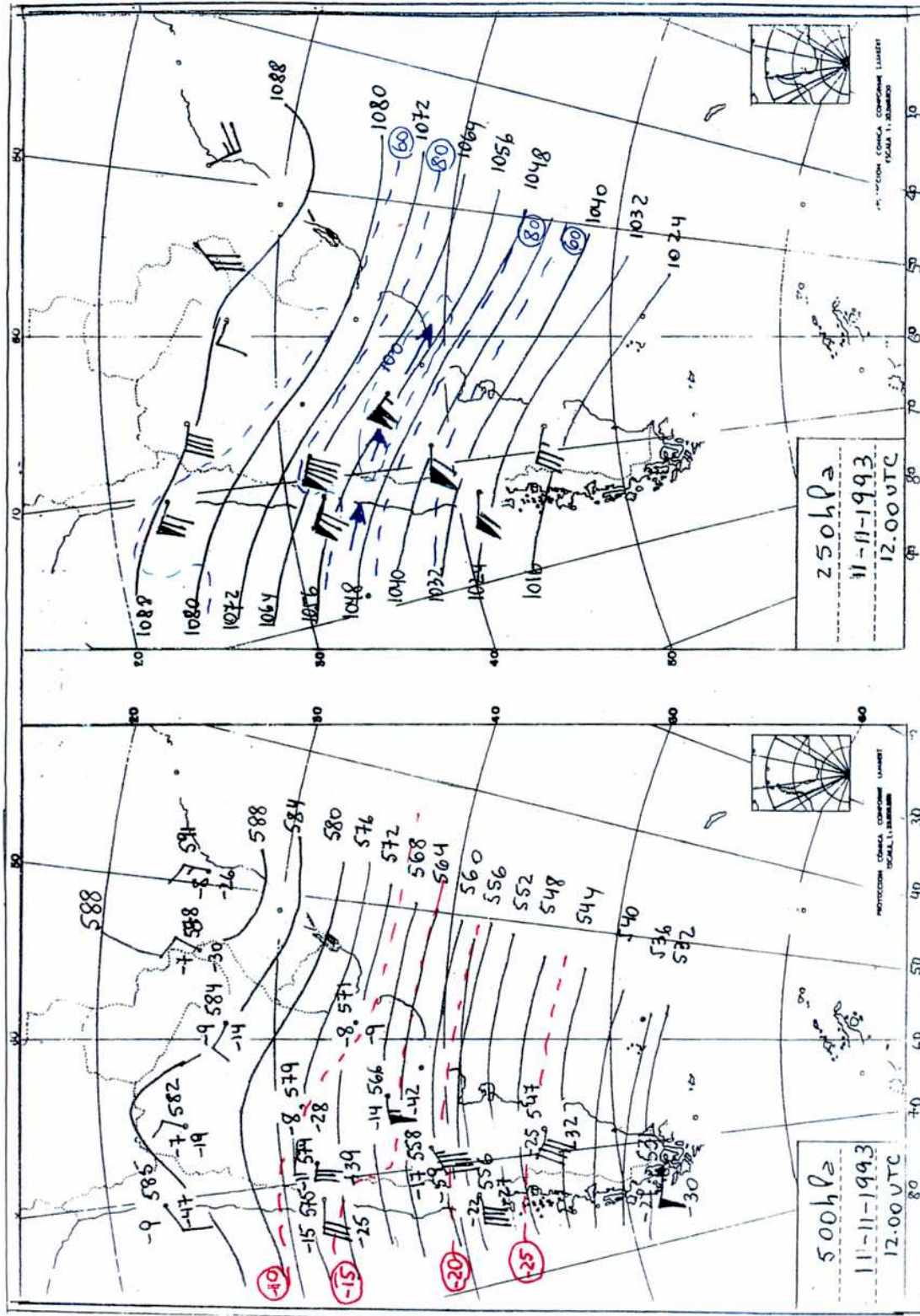


Fig.2.18 : Análisis de alturas geopotenciales de 250 hPa  
----- Isotermas

Fig.2.17 : Análisis de alturas geopotenciales 500 hPa  
----- Isotermas

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

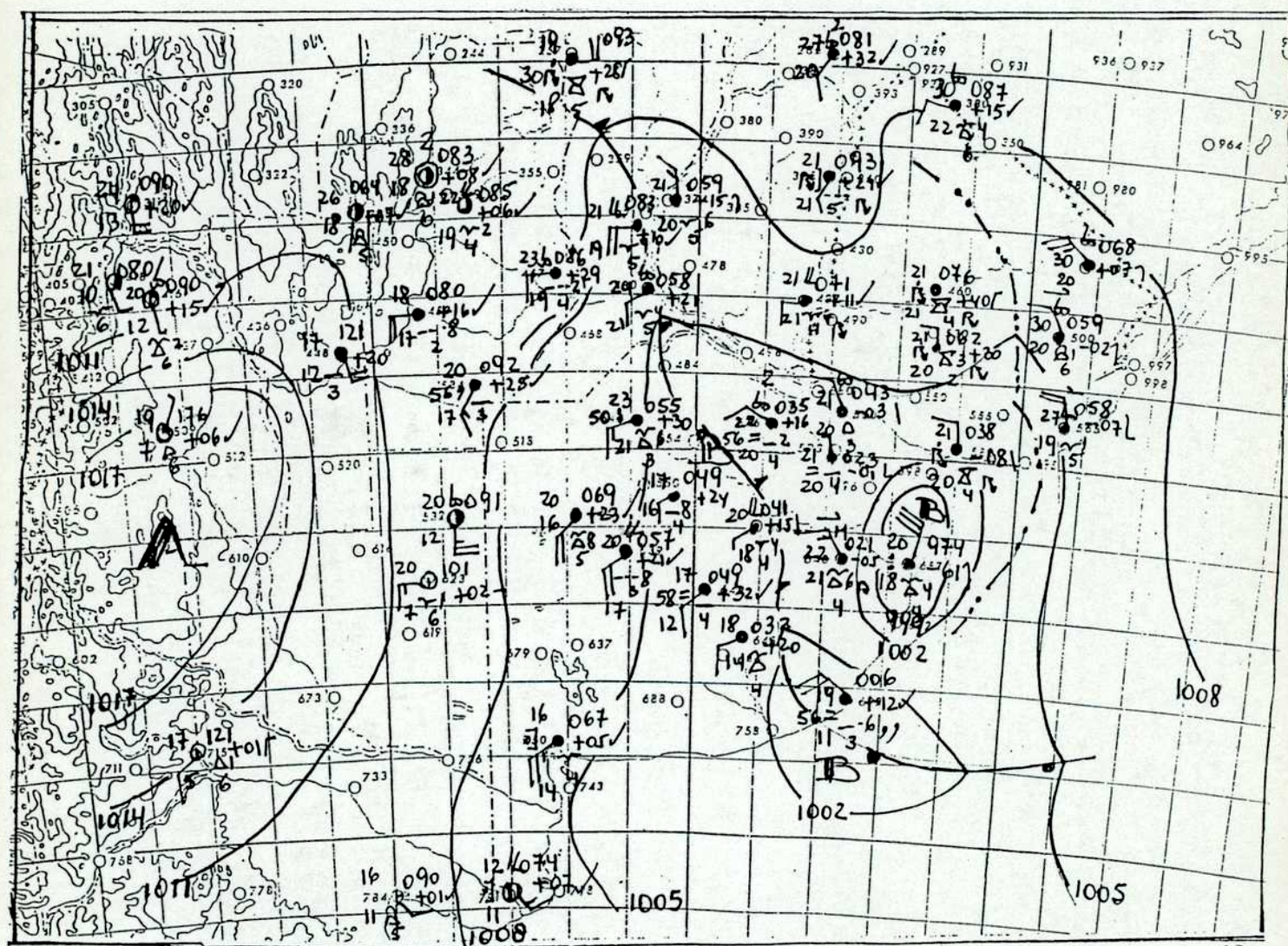


Fig.2.19:Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 11 de noviembre de 1993 15.00UTC



Fig. 2.20: Ubicación geográfica de la cuenca del río Mina Clavero dentro de la zona serrana cordobesa.

## Capítulo 2 - Estudio de tres Líneas de Inestabilidad

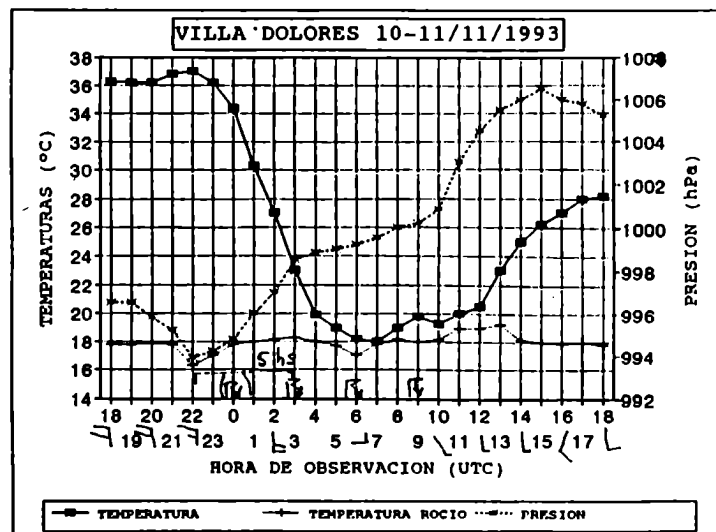
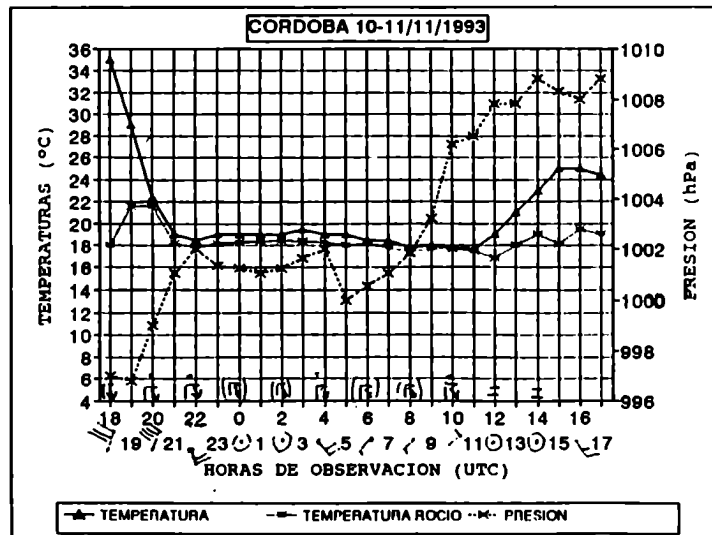
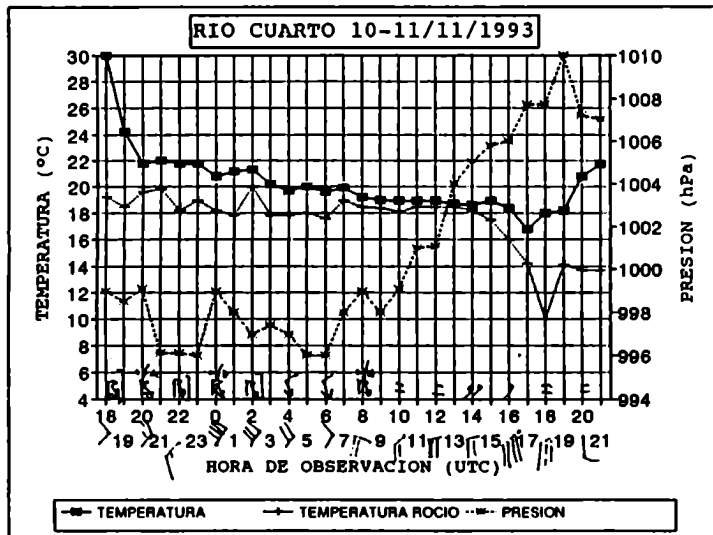
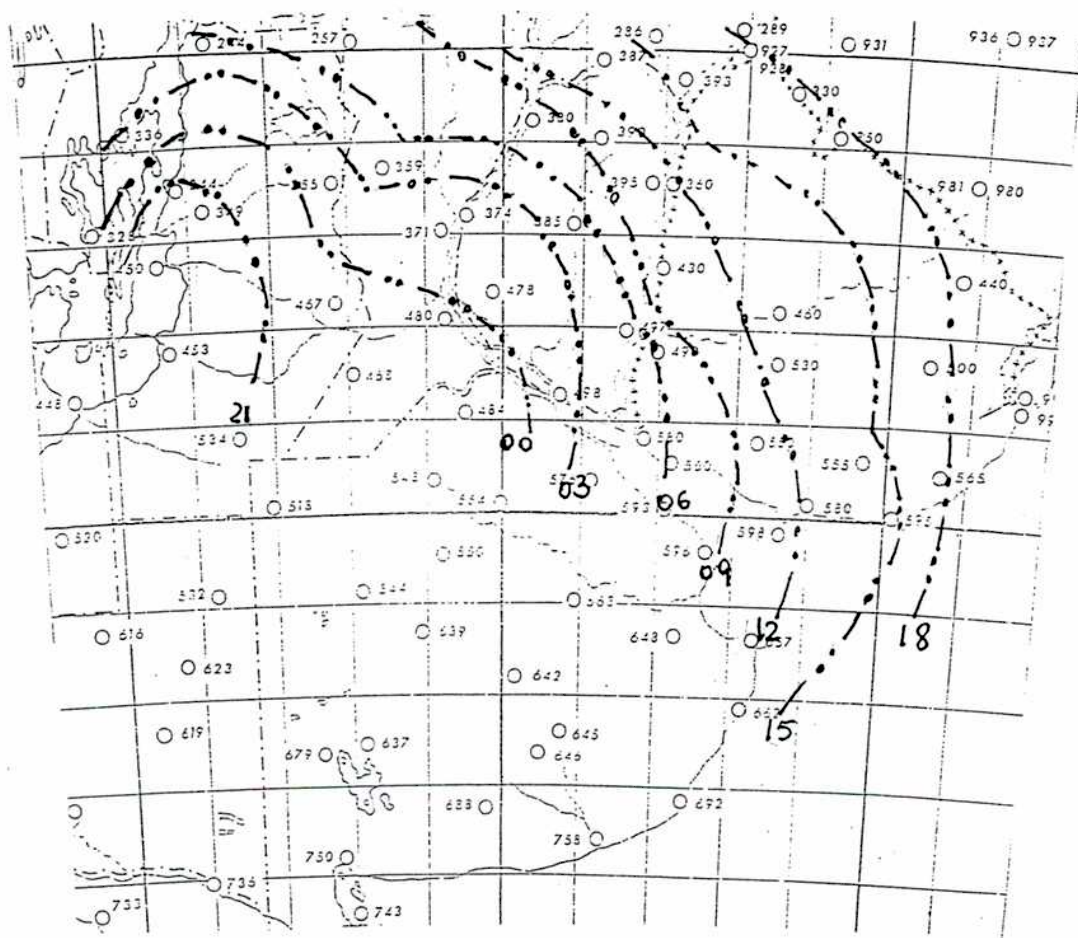


Fig.2.21 Análisis temporales de Rio Cuarto, Córdoba, Villa Dolores del 10-11/noviembre de 1993

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad



**Fig.2.22** Sectorización con isocronas cada tres horas del desplazamiento de la línea de inestabilidad desde su inicio

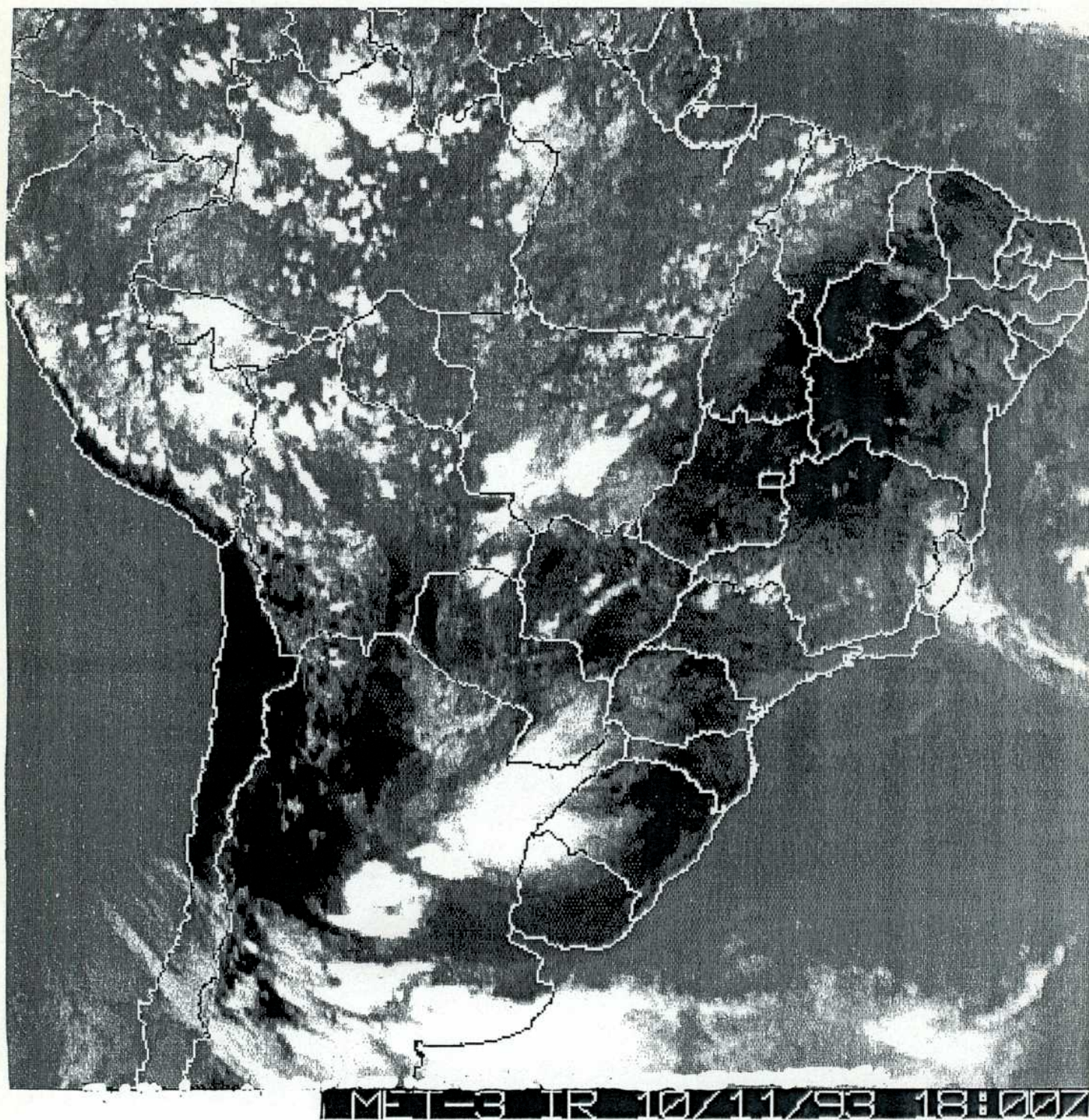


Fig.2.23: Imagen satelital MET-3 IR del día 10 de noviembre de 1993 18.00UTC

## Capítulo 2- Estudio de tres líneas de Inestabilidad

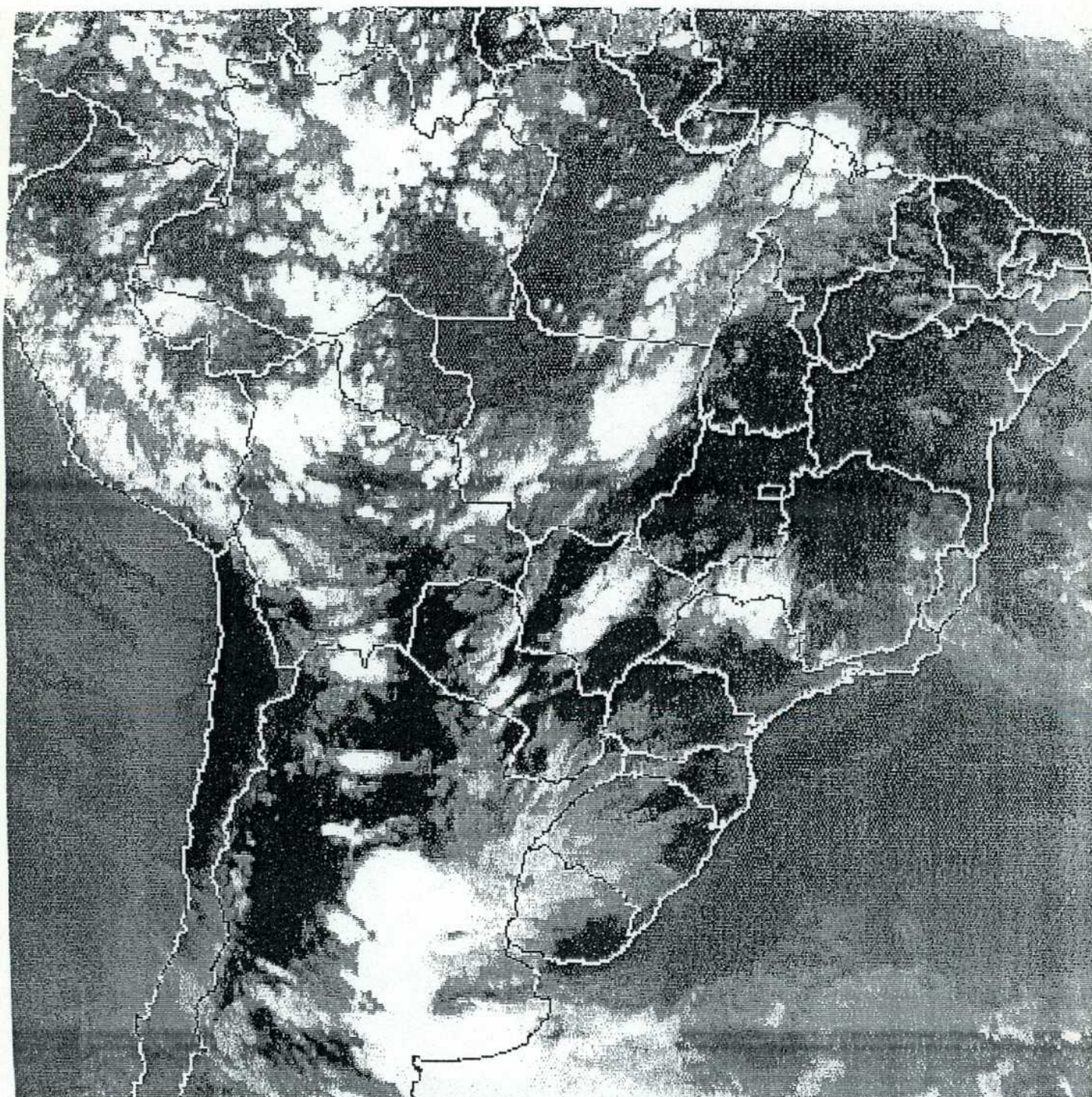


Fig.2.24 Imagen Satelital MET-3 IR del 10 de noviembre de 1993 21:00 UTC

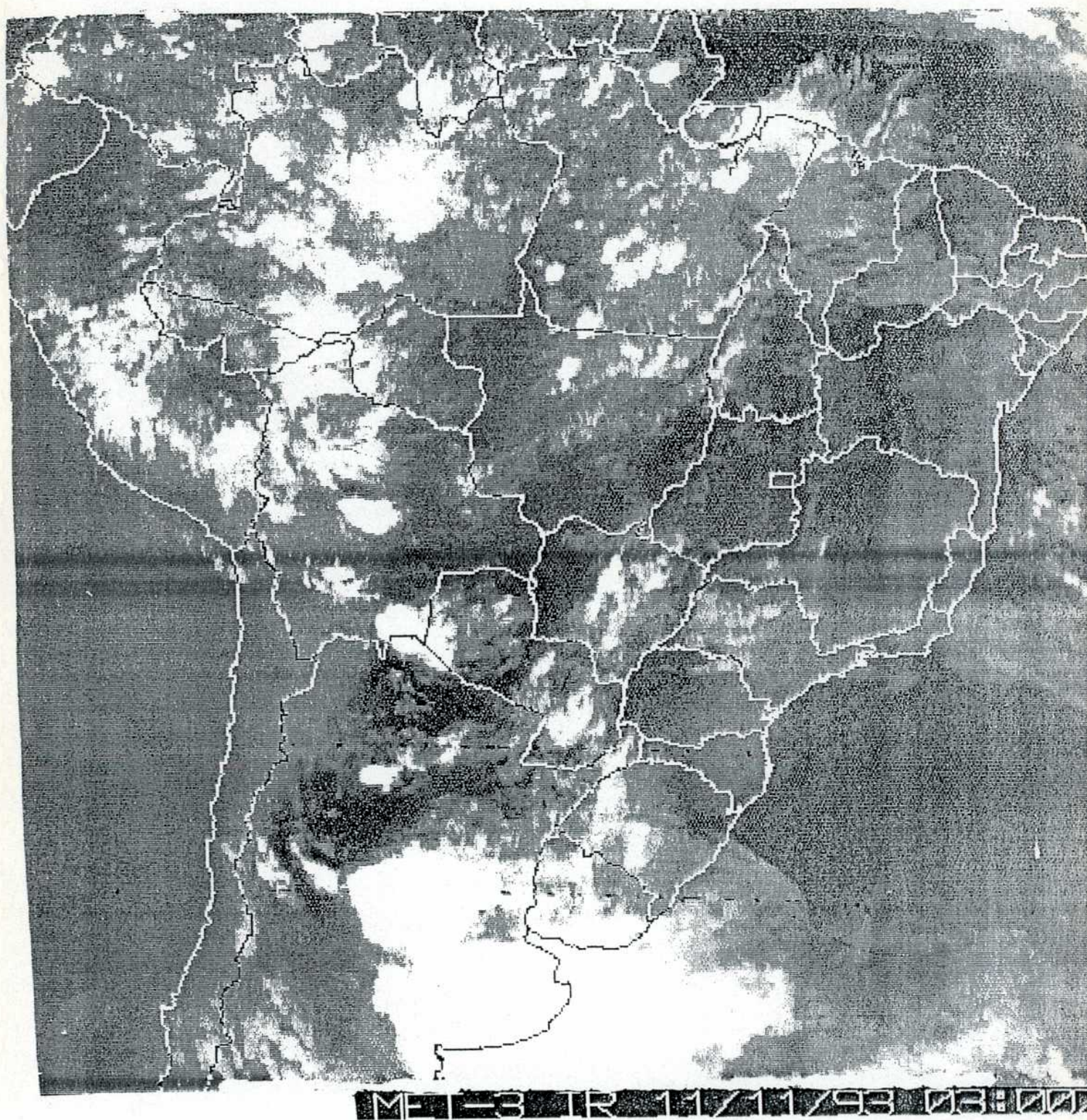


Fig.2.25 Imagen Satelital MET- 3 IR del 11 de noviembre de 1993 03.00 UTC

## Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad

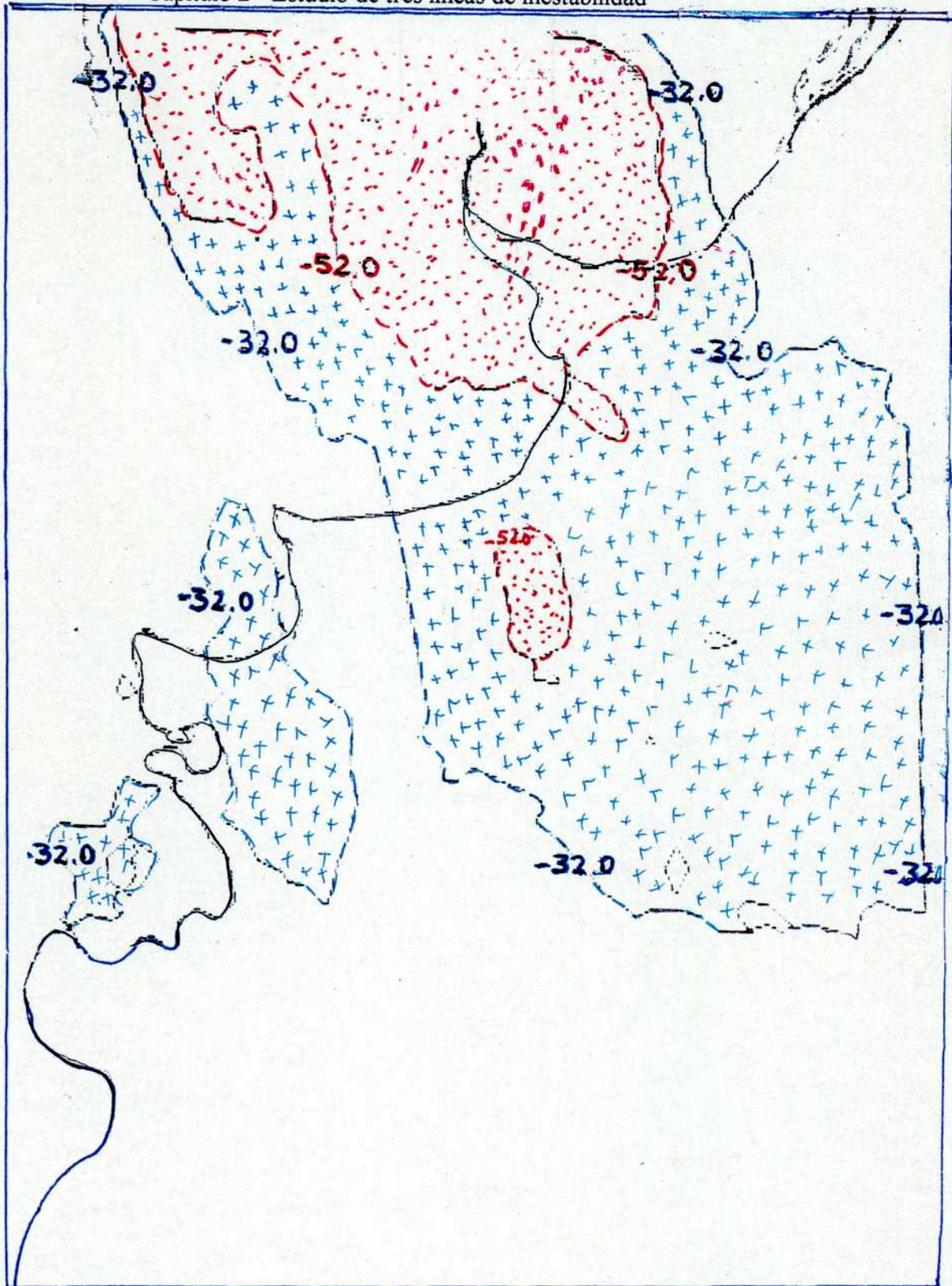


Fig.2.26 Sectorización de imagen satelital NOAA-12 (IR) de las 10.38UTC del día 11 noviembre 1993

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad



Fig. 2.27

Imágenes correspondientes a las nacientes del río Mina Clavero (arriba) y del casco céntrico de la ciudad serrana.

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

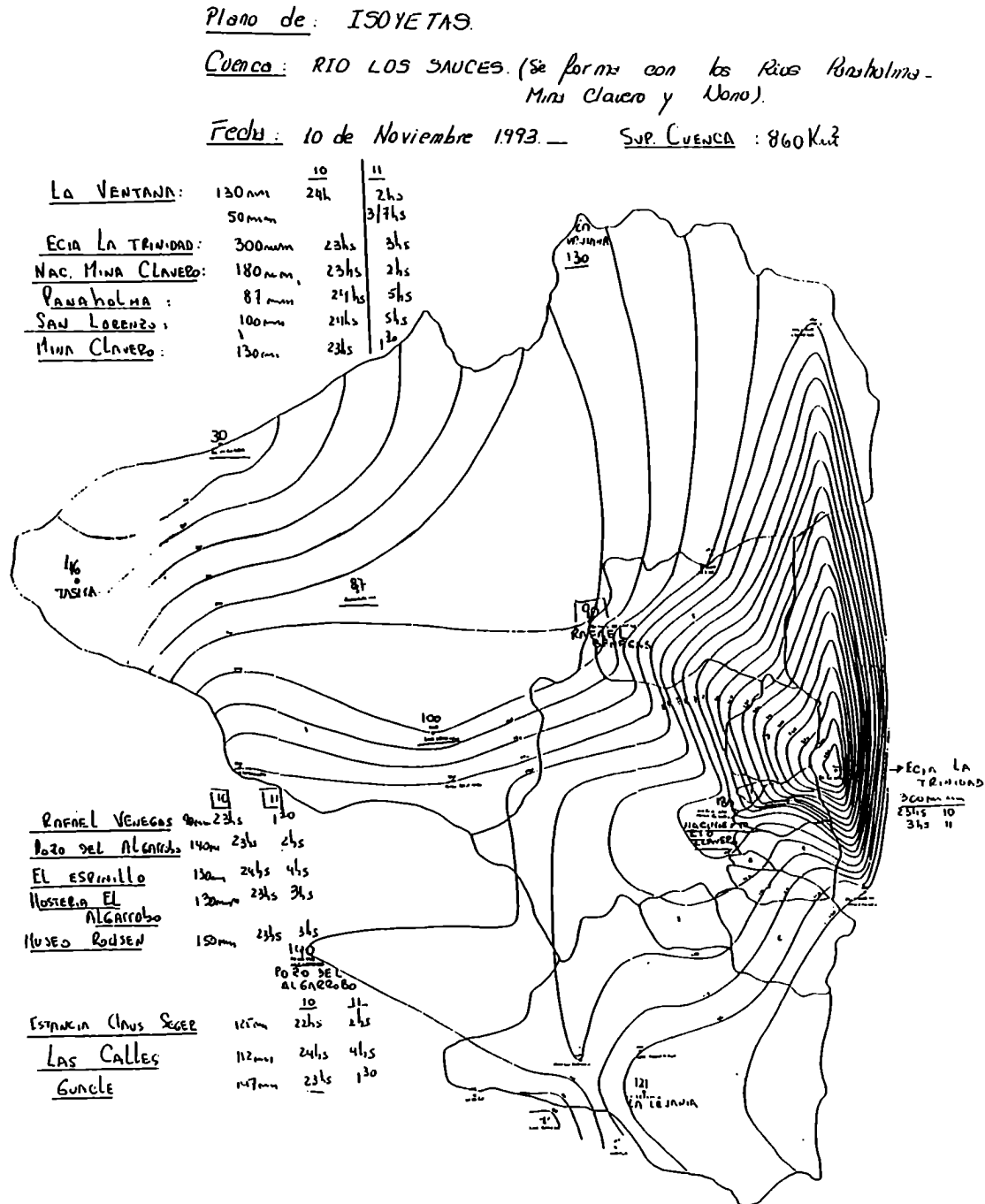
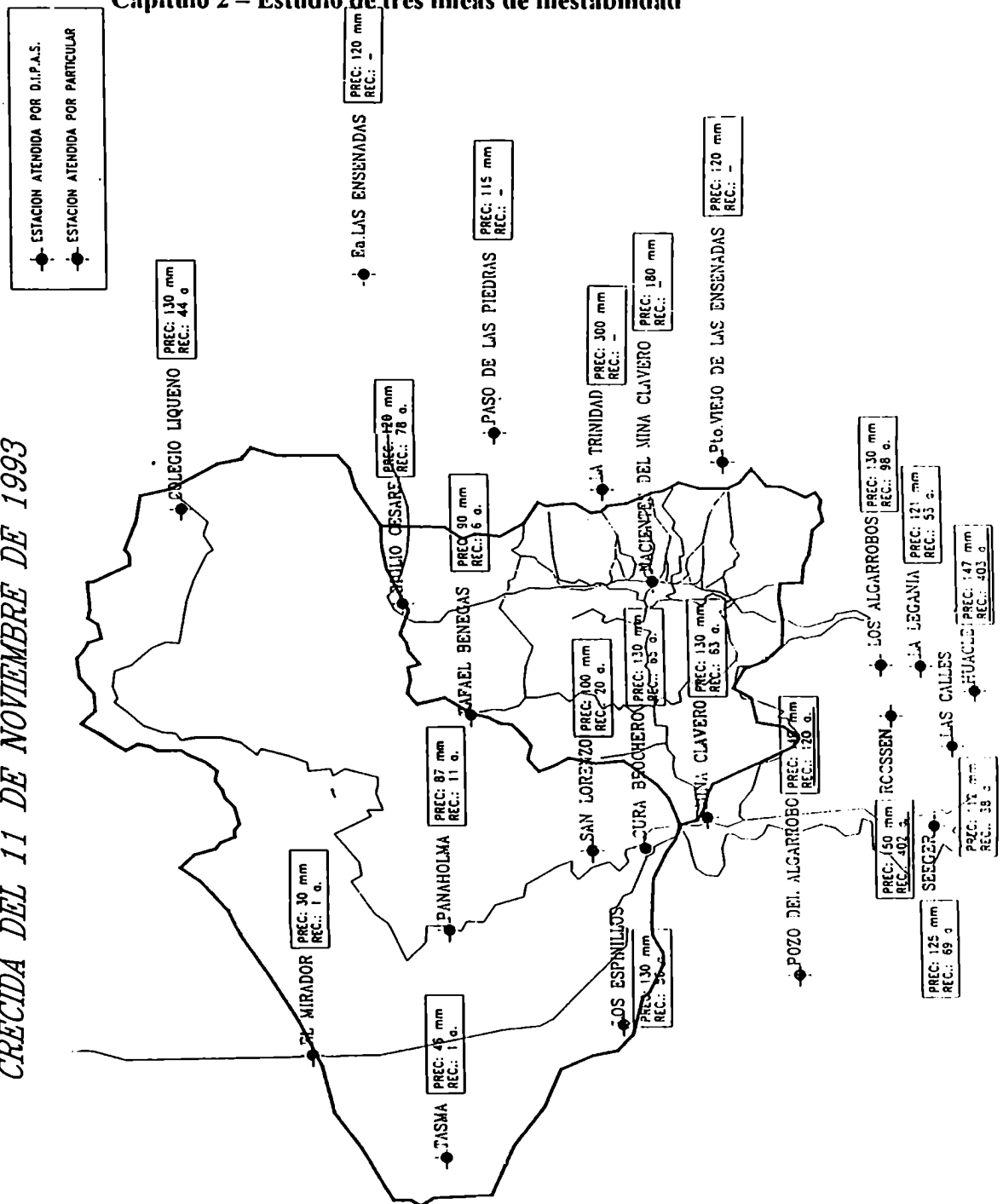


Fig.2.28 Plano de isoyetas de la cuenca del río Los Sauces formada por el río Panaholma, Mina Clavero, y Nono

*MINA CLAVERO*

*CRECIDA DEL 11 DE NOVIEMBRE DE 1993*

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad



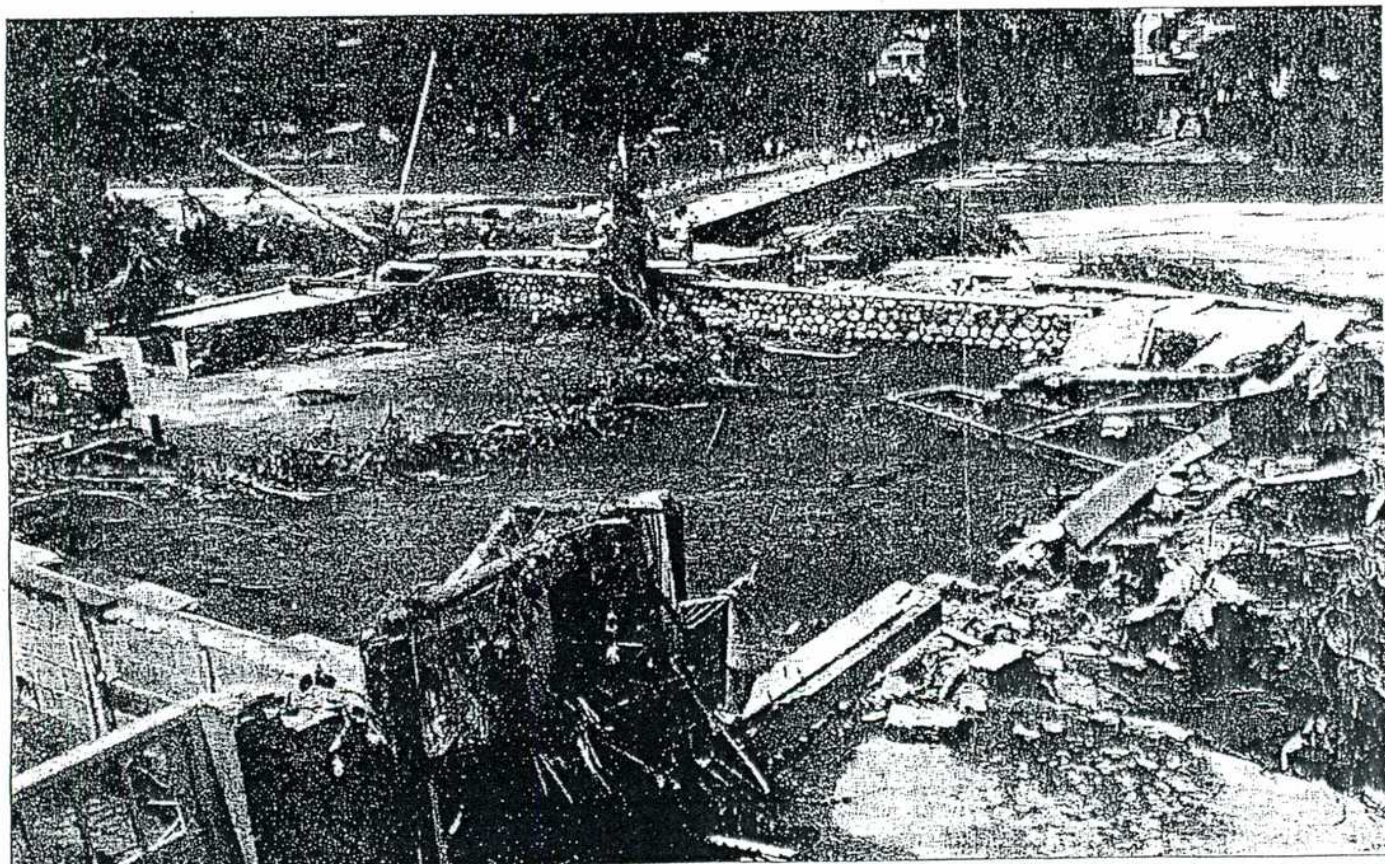
**Fig.2.29 Caudales aforados dentro de la cuenca del río Mina Clavero**



Fig.2.30 Imágenes correspondientes a algunas de las viviendas destruidas por la creciente del río Mina Clavero

# La creciente arrasó el centro de Mina Clavero

El aluvión de agua y lodo revivió por momentos la tragedia de San Carlos Minas y provocó escenas de pánico en la población.



*Algunos locales comerciales ubicados frente al río fueron arrasados completamente. Se vivieron escenas de pánico.*

Un sector del centro de la localidad de Mina Clavero resultó arrasado por la creciente del río homónimo, que en la madrugada de ayer también destruyó tres puentes, cubrió de lodo treinta comercios y provocó millonarias pérdidas económicas.

Poco antes de que la creciente llegara al centro, un hombre pereció aplastado por una pared y otros salvaron sus vidas escapando por los techos de algunos locales.

Aunque cientos de habitantes salieron rápidamente a las calles para trabajar en la limpieza y reconstrucción del lugar, llevará tiempo reparar los destrozos viales y en las viviendas.

Las precipitaciones provocaron, además, la caída de piedras de las laderas sobre el camino de las Altas Cumbres.

En el resto del interior provincial, la situación continuaba siendo afligente en las localidades de Toledo y Lozada, afectadas por vientos huracanados y doscientos milímetros de precipitación.

En esta ciudad numerosos barrios permanecían sin luz, se desbordaron los canales maestros norte y sur y hubo derrumbe de viviendas, aunque no se produjeron víctimas fatales.

Fig.2.31

## Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad



A solamente veinte meses de que la mayor catástrofe natural de la historia de Córdoba arrasara con San Carlos Minas, le tocó el turno a otra apacible localidad transerrana, Mina Clavero, sufrir los efectos destructivos del embate de las aguas.

Una gran precipitación en el faldeo de las Sierras Grandes que en cuestión de minutos marcó 161 milímetros en el pluviómetro, provocó la crecida incontenible de los ríos Panaholma y Mina Clavero.

Donde se unen ambas corrientes, una actuó como barrera de contención para la otra y embalsó la masa de agua que avanzó hacia el centro de la pequeña población en horas de la madrugada, y provocó la destrucción de una decena de locales comerciales, tres puentes y la lógica alarma.

Mina Clavero quedó sin agua y sin energía eléctrica. Un hombre murió aplastado por una pared y debieron ser evacuadas 220 personas, setenta de ellas en la vecina localidad de Cura Brochero.

La memoria compartida de cualquiera de los pueblos esparcidos por las serranías de la provincia incluye numerosos capítulos que conservan el eco atronador de las crecientes, verdaderas murallas de agua, lodo, árboles y rocas que arrasan todo a su paso.

Según los pobladores de la localidad, desde 1914 que no se producía una creciente de la misma magnitud y hace doce años se habría producido un fenómeno similar, aunque con un pico de creciente dos metros menor.

Fig.2.31

## 2.2 La línea de inestabilidad del 11 de diciembre de 1979

### *Introducción*

La línea de inestabilidad del 11 de diciembre de 1979 llamó la atención por los intensos vientos tanto en su borde de avance como en su parte posterior. Por detrás de ella se formó una depresión de estela cerca de la ciudad de Buenos Aires, la que pudo estudiarse detalladamente por la red de superficie y altura con la que se contaba.

### 2.2.1 Situación sinóptica

#### *10 de diciembre de 1979 a las 12.00 UTC*

A las 12.00 UTC, un frente frío de orientación casi zonal en el norte de la Patagonia, separaba dos masas de aire, una cálida y húmeda caracterizada por temperaturas superiores a 32° C y temperaturas de punto de rocío en promedio superiores a 20° C, de otra algo más fría y seca.

Intensos vientos de dirección predominante del noroeste caracterizaban la masa de aire prefrontal ( Fig. 2.32).

En 850 hPa una masa de aire cálido y húmedo asociada con una corriente en chorro de dirección norte penetraba por el noroeste de la Argentina (Fig 2.33).

El índice "Total- Totals" superaba el valor de 50 en Mendoza, Ezeiza y Santa Rosa (53) zona hacia dónde se dirigía la corriente en chorro en 850 hPa.

El aire cálido y húmedo alcanzaba aproximadamente el nivel de 700 hPa en Córdoba y La Pampa (Fig. 2.34). Es interesante notar que el radiosondeo de Mendoza denotaba en 700 hPa una temperatura de 17° C y temperatura de punto de rocío de -15° C, en tanto que en Quintero la temperatura era de 9° C y la temperatura de punto de rocío de -21° C, lo que mostraba la entrada de aire seco y algo más frío en niveles medios .

En 500 hPa, una masa de aire seco cubría la zona central del país , pero se observaba que en Antofagasta y Quintero la temperatura y el punto de rocío eran más bajos que en el lado argentino.

La corriente en chorro a 250 hPa que acompañaba al frente en superficie , se encontraba sobre Puerto Montt (Fig . 2.35).

### *Formación de la línea de inestabilidad*

El día 10 a las 18.00 UTC el frente frío había alcanzado el sud de la provincia de la Pampa. Por delante del mismo, Santa Rosa acusaba una fuerte caída de la presión, detalle que Harrison y Orendorff (1941), notaron como un detalle característico antes de que la línea de inestabilidad apareciese. Las temperaturas en el sector caliente superaban los 32° C, en tanto que los vientos y prevalecían del sector norte ( Fig. 2.36).

A las 21.00 UTC (Fig. 2.37) aparecieron los primeros indicios de la línea de inestabilidad en Santa Rosa.

A las 00.00 UTC, la actividad convectiva se extendía hacia el SE y alcanzaba Bahía Blanca, mientras que la línea de inestabilidad, ya bien establecida, se encontraba próxima a General Pico y Sierra de la Ventana ( Fig. 2.38).

### *11 de diciembre a las 00.00 UTC*

#### *Análisis de la temperatura potencial equivalente en altura*

A las 12.00 UTC se observaba en el nivel de 850 hPa un aumento de la temperatura potencial equivalente en Mendoza, Córdoba y Buenos Aires, y una disminución en Santa Rosa (Fig.2.39).

En el nivel de 700 hPa (Fig. 2.40), la lengua húmeda se había elongado en sentido Zonal como lo indica el aumento en la temperatura potencial equivalente en Mendoza y Ezeiza . En Santa Rosa se registraba una disminución de la misma.

En 500 hPa la situación era muy similar a la de los niveles más bajos, con excepción de Santa Rosa, donde se notaba un aumento de su temperatura potencial equivalente ( no se muestra). Esto sugiere que una masa de aire seco entre 850 y 700 hPa penetró por detrás de la línea de inestabilidad , un factor importante en el mecanismo de formación y propagación de las líneas de inestabilidad (Miller, 1967).

La línea continuó su rápido desplazamiento hacia el noreste y a las 09.00 UTC alcanzó el noroeste de la provincia de Buenos Aires y pasó Mar del Plata.

*11 de diciembre de 1979 a las 12.00 UTC*

En superficie, el frente frío, avanzando lentamente hacia el nordeste, había traspuesto Santa Rosa y Bahía Blanca, en tanto que la línea de inestabilidad pasaba por Ezeiza manifestándose por detrás el alta de tormenta (Fig.2.42).

En 850 hPa , la línea de inestabilidad estaba inmersa dentro de una lengua de aire cálido , húmedo e inestable , con una corriente en chorro de dirección norte (Fig. 2.43). El mayor índice de inestabilidad “Total- Totals”=58 correspondía a Ezeiza, hacia donde se dirigía la corriente en chorro de capas bajas.

En 700 hPa , una masa de aire muy seca ocupaba la zona central de la Argentina ( Fig. 2.44).

En 500 hPa se aproximaba una vaguada desde el Pacífico hacia la costa chilena y una perturbación de onda corta se observaba en las proximidades de Córdoba (Fig. 2.45).

*12 de diciembre de 1979 a las 00.00 UTC**Análisis de la temperatura potencial equivalente en altura*

La temperatura potencial equivalente disminuyó 20 °C en Ezeiza con respecto a las 12.00 UTC en el nivel de 850 hPa , por detrás de la línea de inestabilidad . Hacia el oeste una lengua de aire cálido y húmedo era impulsada por una corriente en chorro del norte .

Un fuerte gradiente de temperatura potencial equivalente entre Santa Rosa y Bahía Blanca coincidía aproximadamente con el frente frío (Fig. 2.46).

*Análisis de un corte vertical meridional*

La Fig. 2.47 muestra un corte vertical de la temperatura potencial equivalente que se extiende entre Comodoro Rivadavia y Salta aproximadamente a lo largo del meridiano 68°O.

Dicho corte, válido para las 00.00 UTC del 12 de diciembre de 1979, permite identificar en los alrededores de Córdoba una masa de aire cálido y húmedo con elevados valores de temperatura potencial equivalente y por encima de ella, una

masa de aire seco con una temperatura potencial equivalente de  $330^{\circ}\text{K}$ . Esta configuración es muy semejante a la obtenida por C. W. Newton (Fig. N°12, 1950). Hacia el sur, entre Santa Rosa y Neuquén, un marcado gradiente de temperatura potencial equivalente corresponde a la zona frontal.

#### *Descripción de la línea de inestabilidad en superficie*

A las 00.00 UTC del 12 de diciembre de 1979 (Fig. 2.48) la línea de inestabilidad formaba un arco desde Marcos Juárez hasta Durazno (R.O.U).

El centro de alta presión se hallaba ligeramente al sur de Mercedes (R.O.U), donde se observaba un máximo de presión de 1009.3 hPa, en tanto que en Aeroparque, a una distancia de 150 Km, el valor de la presión era de 999.5 hPa.

En la Figura 2.49 el campo de temperatura potencial equivalente en superficie muestra la masa de aire tropical no perturbado con valores de más de  $360^{\circ}\text{K}$  y una masa de aire intermedia con valores alrededor de  $342^{\circ}\text{K}$  en la zona de influencia de la línea de inestabilidad. Un fuerte gradiente al sur de la provincia de Buenos Aires corresponde a la posición frontal. En el alta de tormenta hay un centro de valores mínimos de alrededor de  $335^{\circ}\text{K}$ .

#### *Análisis detallado de la depresión de estela*

En la Figura 2.50 se reproduce el mesoanálisis de la depresión de estela que muestra una forma elongada como una vaguada profunda y angosta.

Llama la atención que en la depresión de estela el viento es del sector norte y la máxima intensidad del mismo se observa donde la presión es mínima. Una simple inspección de los vientos permite ver que la vorticidad relativa es prácticamente nula alrededor de la depresión de estela.

La divergencia que se observa entre el alta y la depresión de estela ha debido estar acompañada por un descenso del aire, mientras que al sudoeste de la depresión la convergencia ha debido estar asociada con cierto ascenso.

El radiosondeo de Ezeiza de las 00.00 UTC (Fig. 2.51) muestra una inversión de aproximadamente 1500 m de altura desde superficie en la cual la temperatura potencial equivalente disminuye desde  $350^{\circ}\text{K}$  hasta  $332^{\circ}\text{K}$ .

Desde el tope de la inversión hasta la base de nube la temperatura potencial equivalente es de  $330^{\circ}\text{K}$ , correspondiente al de la masa de aire situada en el centro del país en 500 hPa.

Esta masa de aire se presume oriunda de la región del anticiclón subtropical del Pacífico , que desde alturas entre 3.000 a 6.000 m entre Quintero y Antofagasta , se ha introducido desde el noroeste por detrás de la línea de inestabilidad .

Su descenso hasta cerca de la superficie en el área de precipitación por un proceso adiabático saturado se nota por el mínimo de temperatura potencial equivalente en superficie en el área del alta de lluvia. El movimiento descendente en el borde de esta área, o fuera de la misma por un proceso adiabático seco puede notarse, ya que la humedad relativa en Ezeiza en 850 hPa es del 27 %, y la temperatura es de 30° C.

### 2.2.2 Conclusiones

La línea de inestabilidad del 11 de diciembre de 1979 se generó dentro de una masa de aire cálido, húmedo e inestable con una temperatura potencial equivalente de alrededor de 360 °K, separada por una inversión convectivamente inestable, de una masa de aire seco con una temperatura potencial equivalente de alrededor de 330 °K, al norte de un sistema frontal frío.

Una corriente en chorro en 850 hPa que a 12 UTC del 10 de diciembre, penetraba desde el noroeste del territorio hacia la zona central del país donde el índice de inestabilidad "Total-Totals" era superior al valor de 50.

En niveles medios de la atmósfera la entrada de una perturbación de onda corta estaba asociada con la entrada de una masa de aire seco que aportó la inestabilidad potencial para el desarrollo de actividad convectiva severa.

La depresión de estela generada en los alrededores del Aeroparque de la ciudad de Buenos Aires luego del pasaje de la línea de inestabilidad, pudo formarse por el descenso de una masa de aire superior que se presume oriunda del Anticiclón del Pacífico identificada entre Antofagasta y Quintero, la que al desplazarse hacia el sudeste penetró por detrás de la línea de inestabilidad mediante un proceso adiabático saturado en el área de precipitación casi hasta superficie, alcanzando una temperatura potencial equivalente de 335°K, lo que generó el alta de tormenta. Fuera del área de precipitación, el descenso se produce por un proceso adiabático seco como lo demuestra la alta de temperatura ( 30°C ) en Ezeiza en el nivel de 850 hPa formándose así la baja de estela.

Capítulo 2 - Estudio de tres Líneas de Inestabilidad

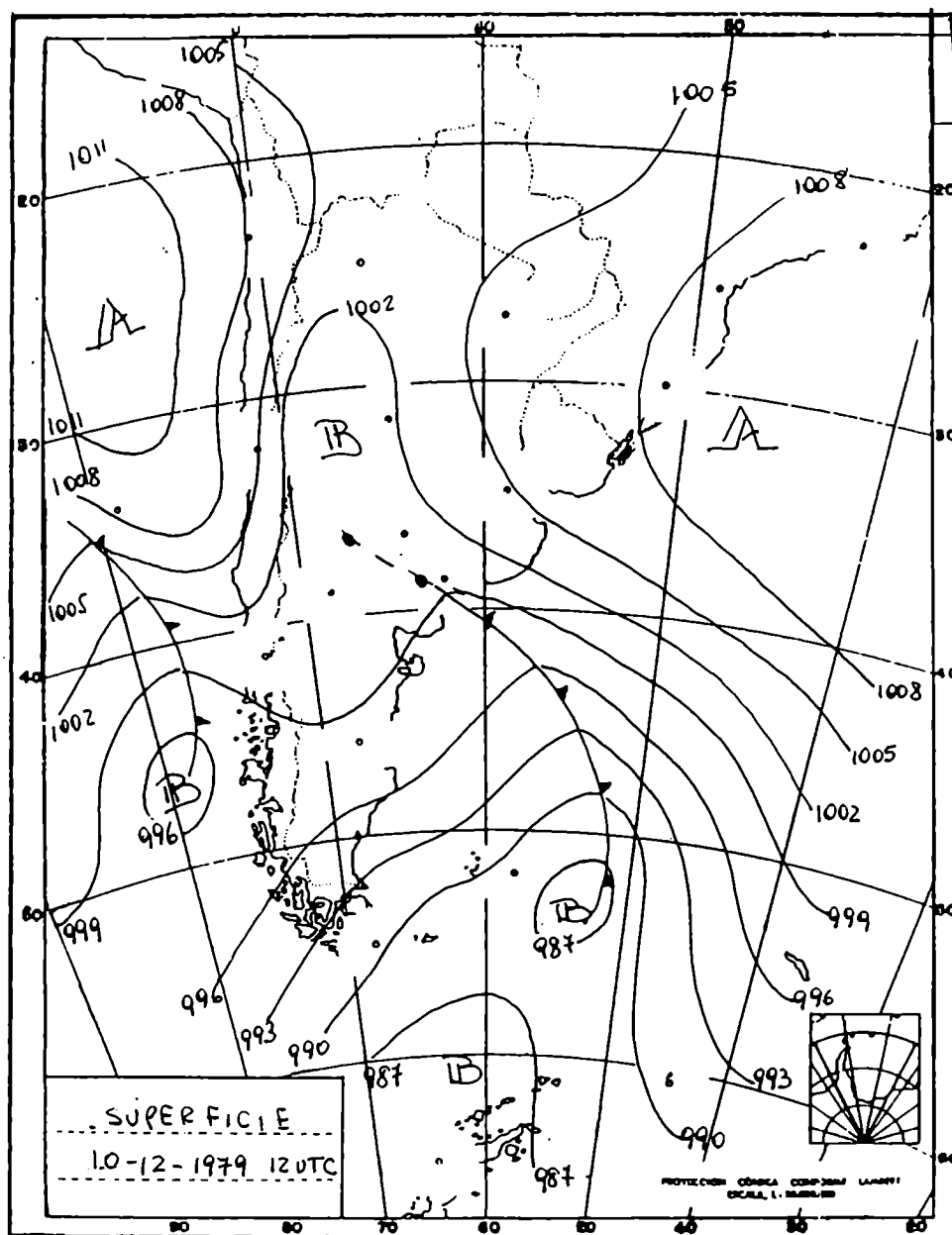


Figura 2.32 Análisis del mapa de superficie (hPa) del día 10 de diciembre de 1979 12.00 UTC

## Capítulo 2 - Estudio de tres Líneas de Inestabilidad

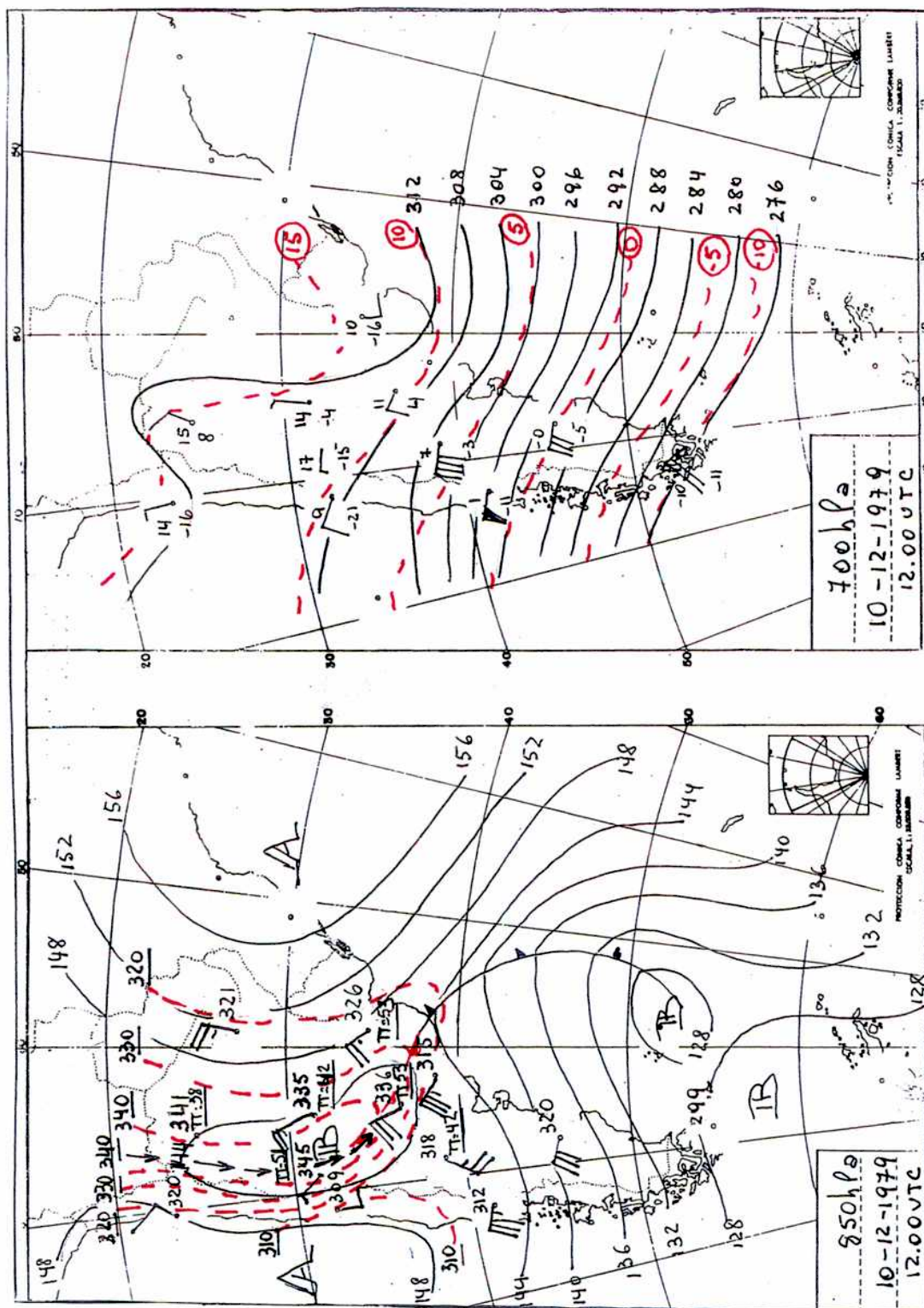


Fig. 2.33      Análisis de alturas geopotenciales 850 hPa  
 ----- Líneas de temperatura potencial equivalente  
 TT Índice de inestabilidad "Total-Total"

Fig. 2.34 \_\_\_\_ Análisis de alturas geopotenciales 700 hPa  
----- Isotermas

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de Inestabilidad

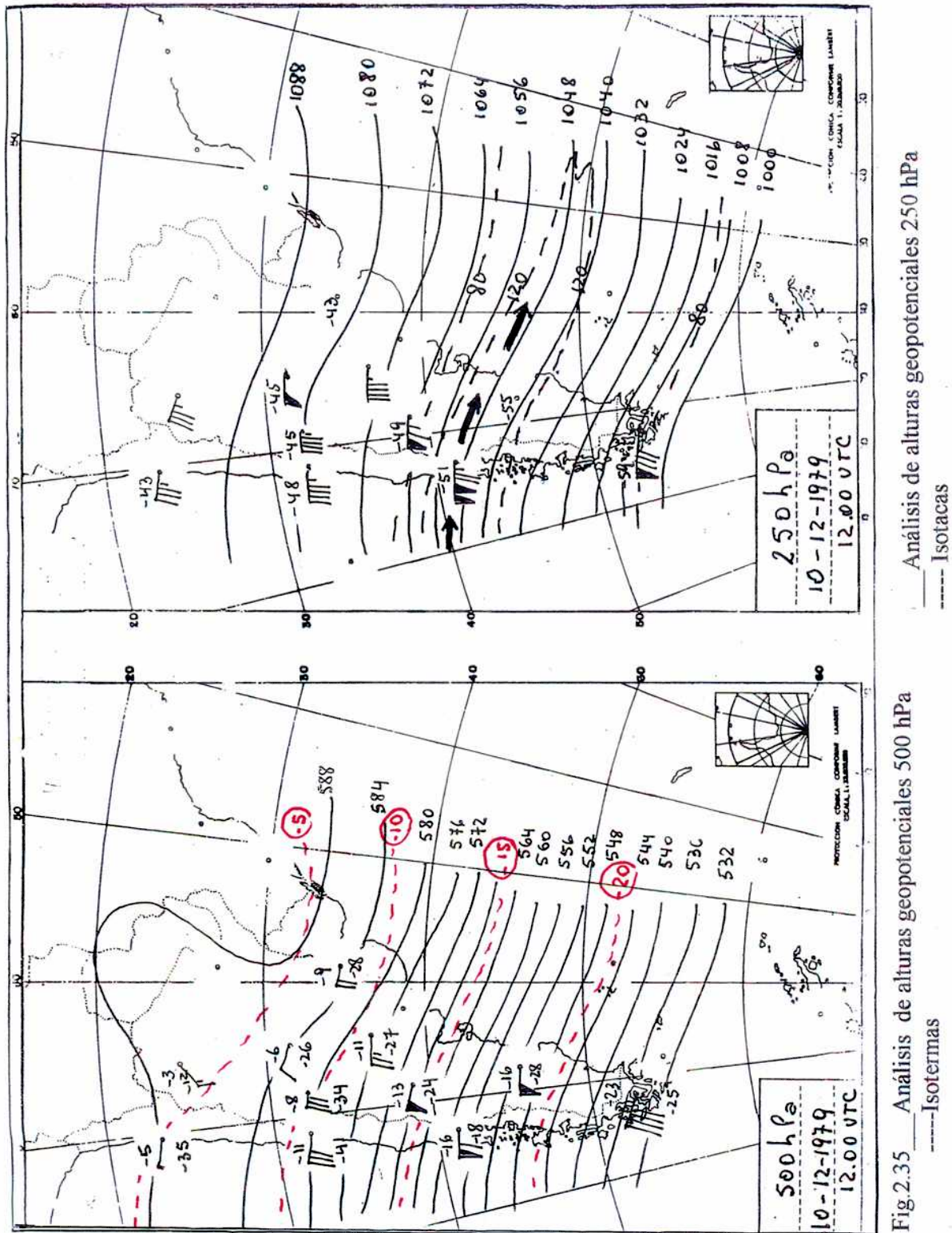


Fig. 2.35 Análisis de alturas geopotenciales 500 hPa

Análisis de alturas geopotenciales 250 hPa

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de Inestabilidad

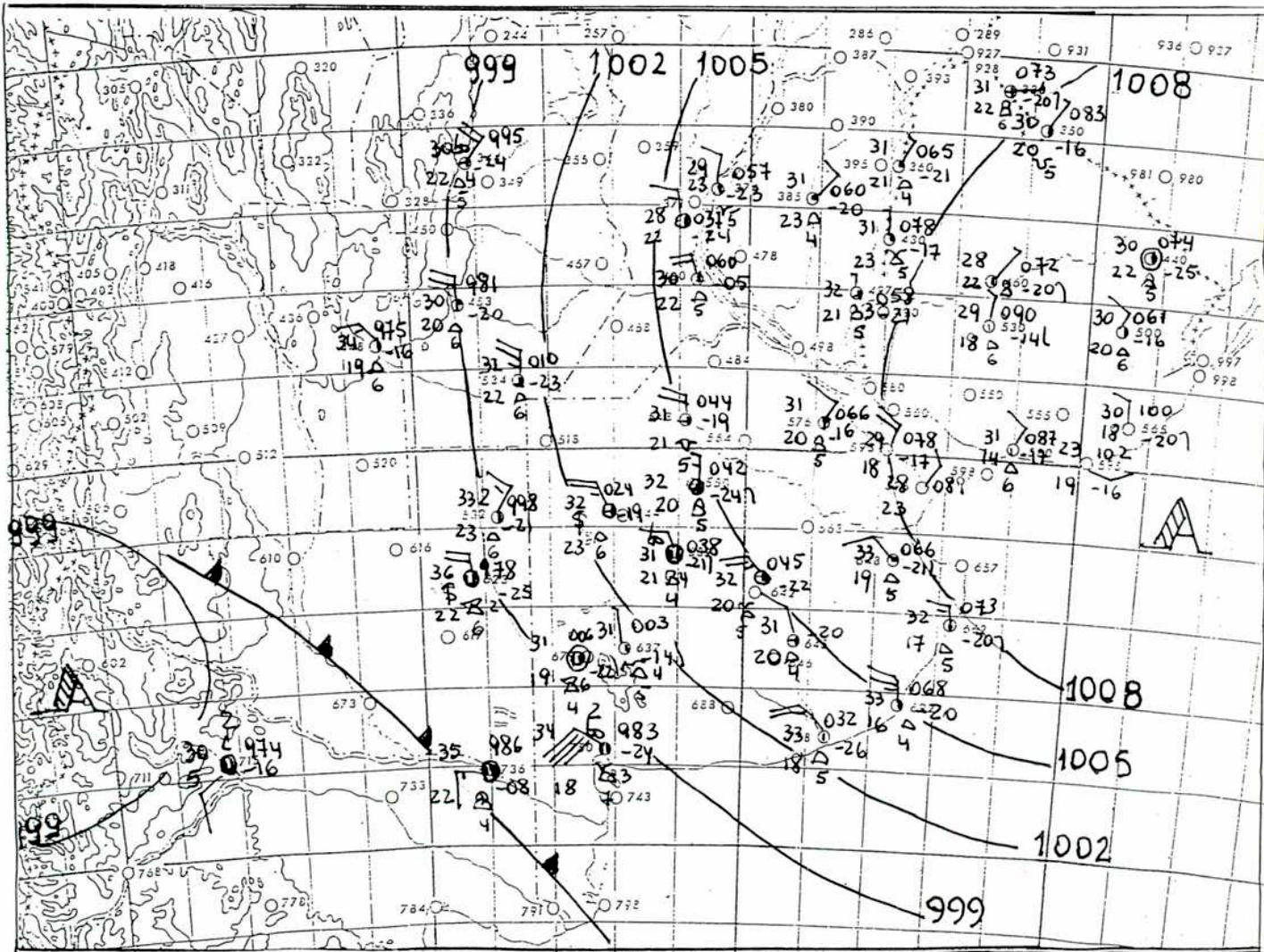


Figura 2.36 Análisis de la sectorización de superficie (hPa) del 10 de diciembre de 1979  
18.00UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de Inestabilidad

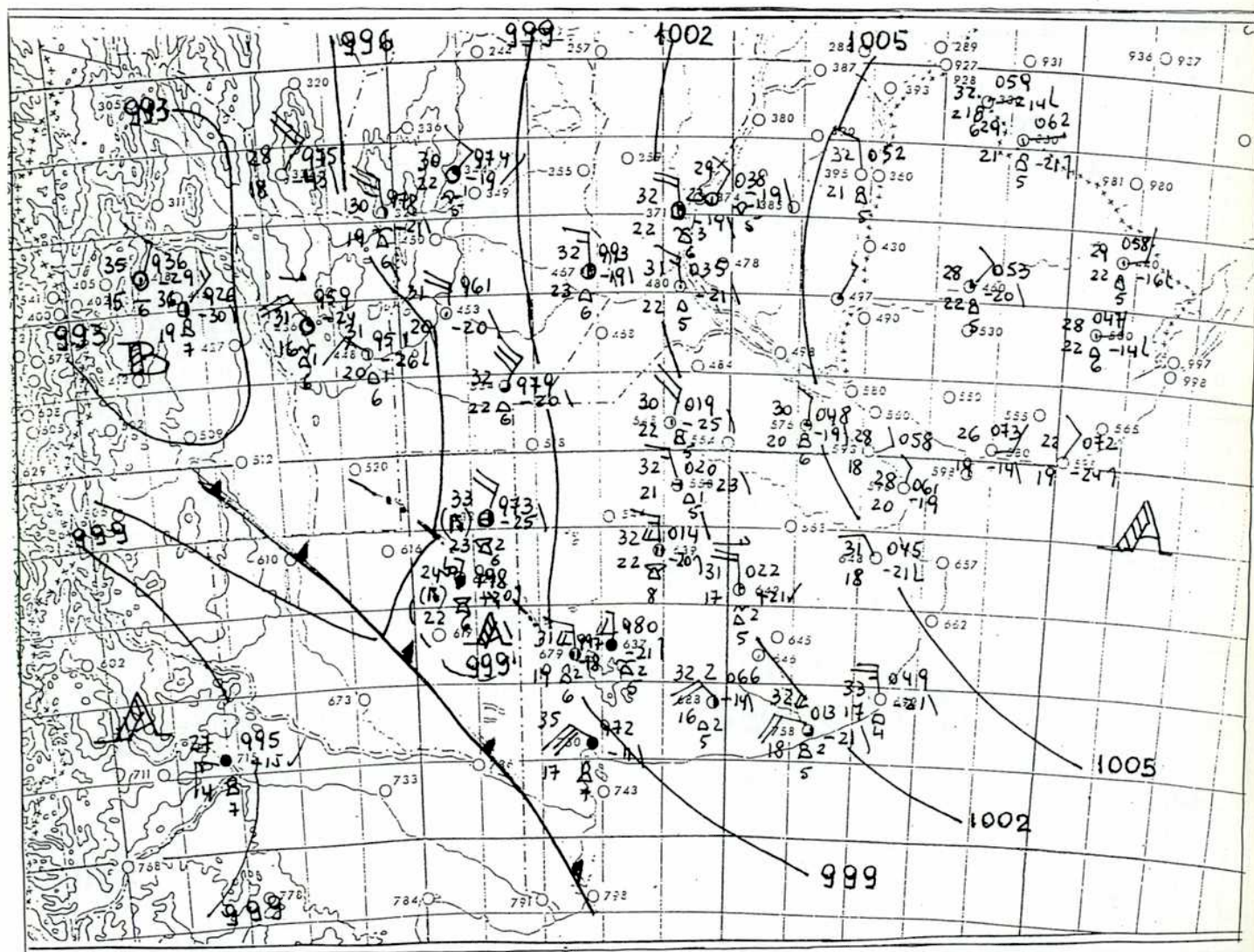


Figura 2.37 Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 10 de diciembre de 1979

21.00UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de Inestabilidad

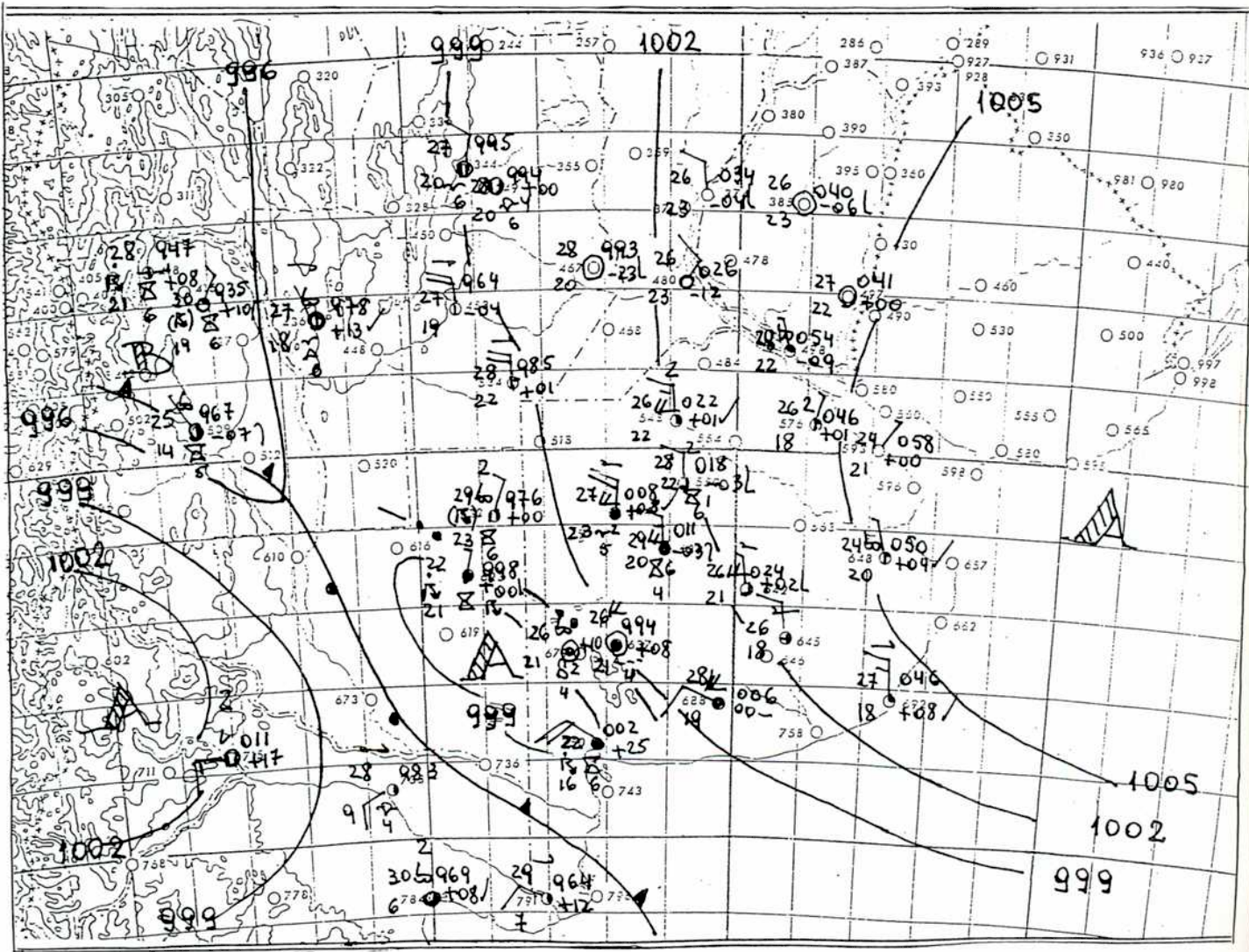


Figura 2.38 Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del día 10 de diciembre de 1979

00.00 UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de Inestabilidad

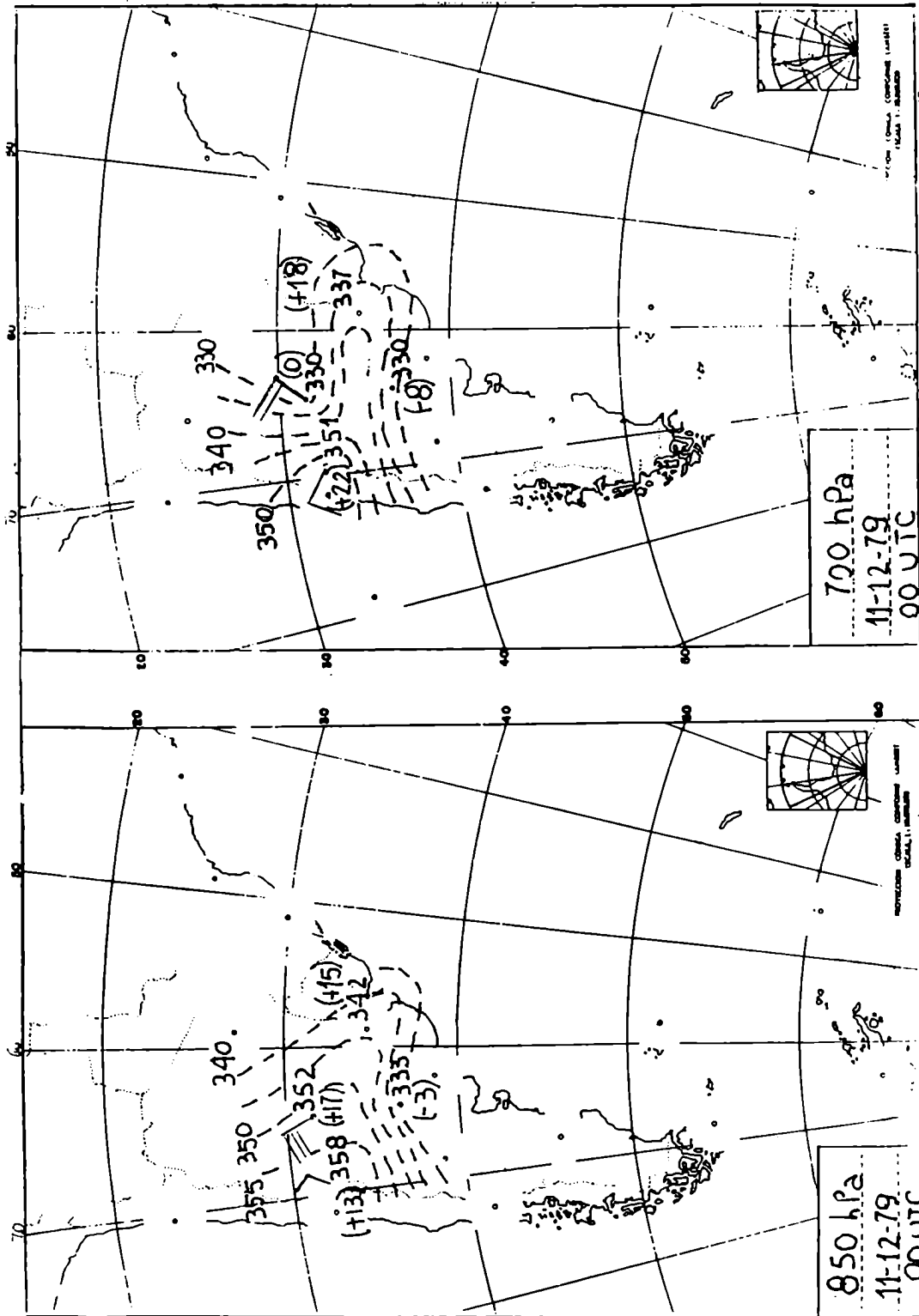


Fig 2.39 ----Análisis de temperatura potencial equivalente  
850 hPa 11 de diciembre de 1979 a 00.00UTC

Fig 2.40 ----Análisis de temperatura potencial equivalente  
700 hPa 11 de diciembre de 1979 a 00.00UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad

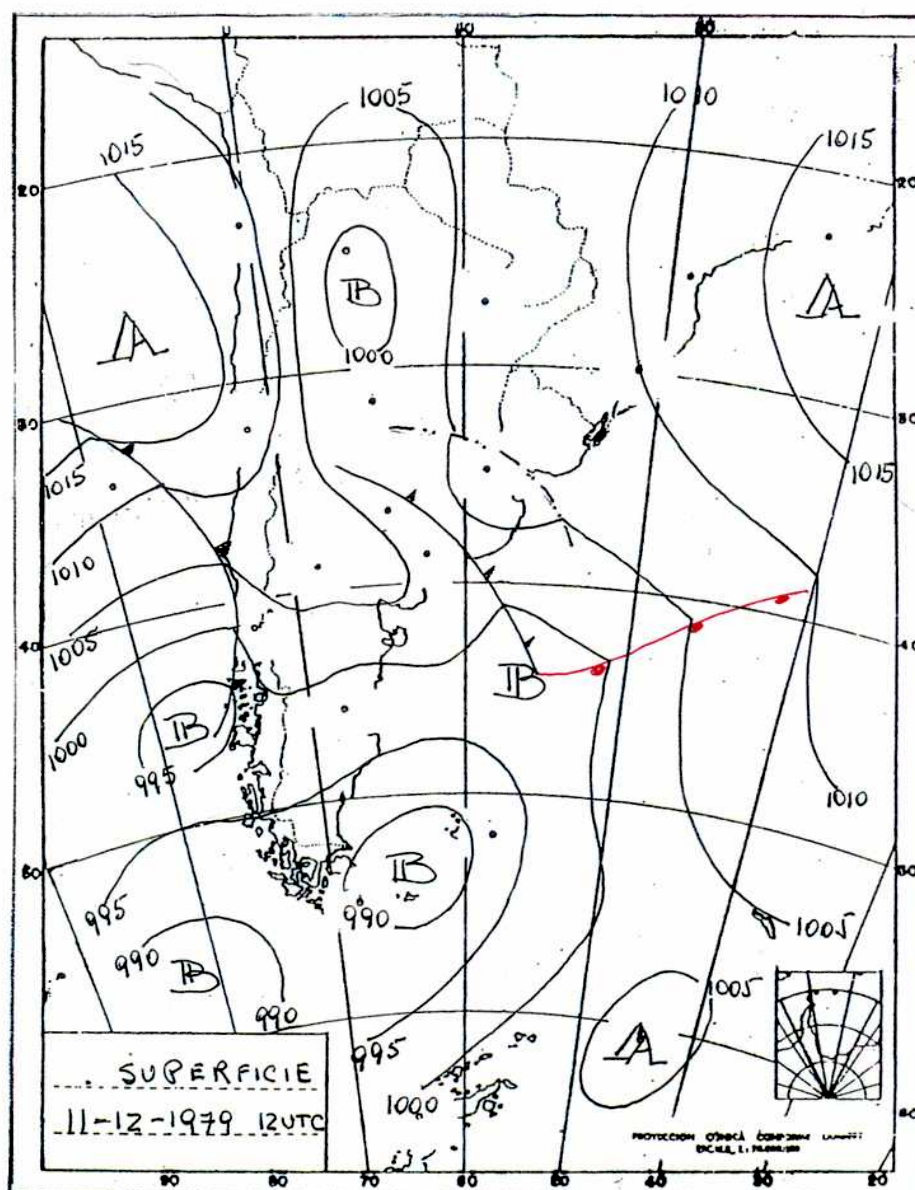


Figura 2.42 Análisis del mapa de superficie(hPa) del día 11 de diciembre de 1979 12.00 UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de Inestabilidad

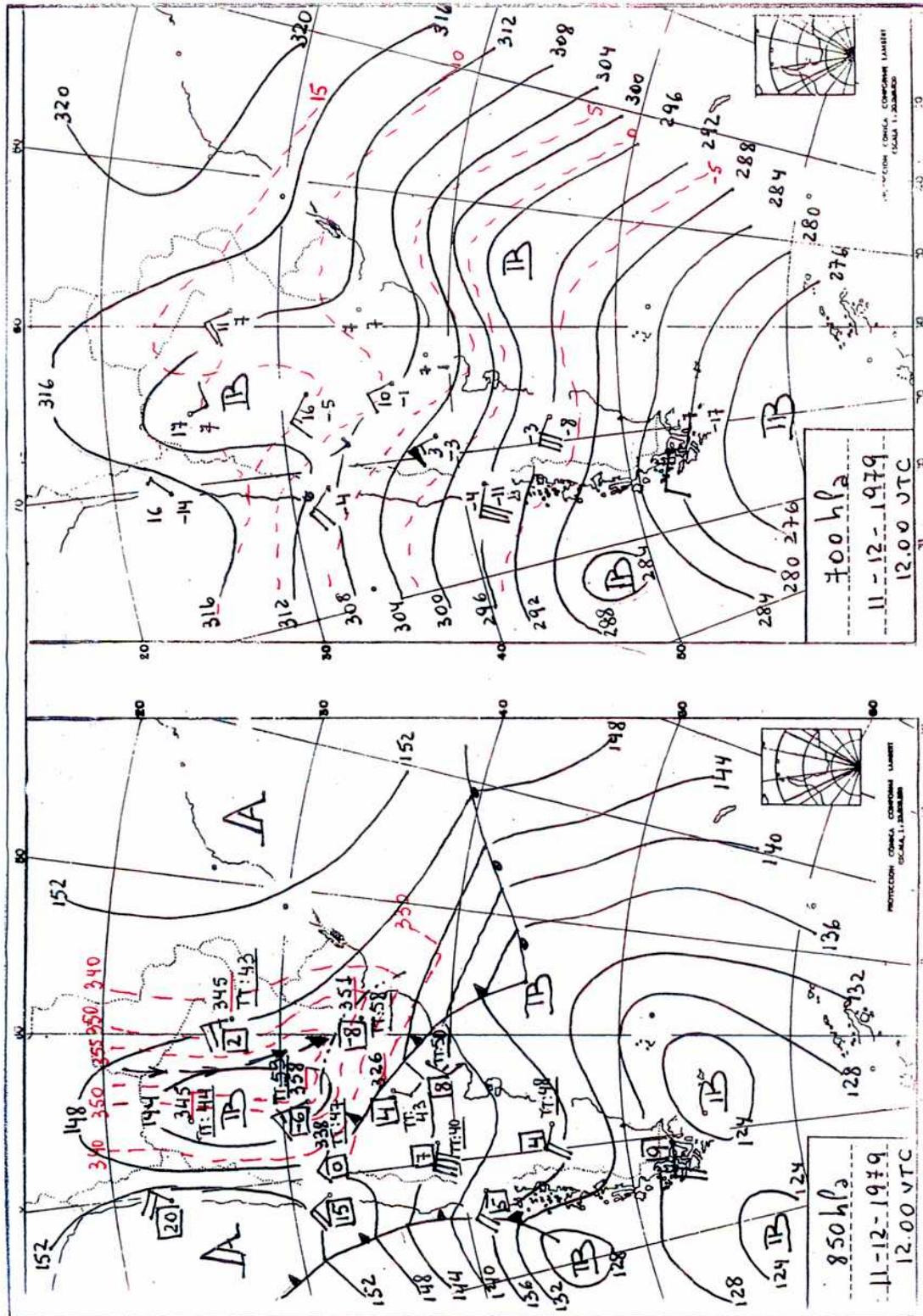


Fig. 2.44: Análisis de alturas geopotenciales 700 hPa  
 ----- Isotermas

Fig. 2.43: Análisis de alturas geopotenciales 850 hPa  
 ----- Líneas de temperatura potencial equivalente  
 ..... Índice de inestabilidad "Total-Total"

## Capítulo 2 - Estudio de tres líneas de inestabilidad

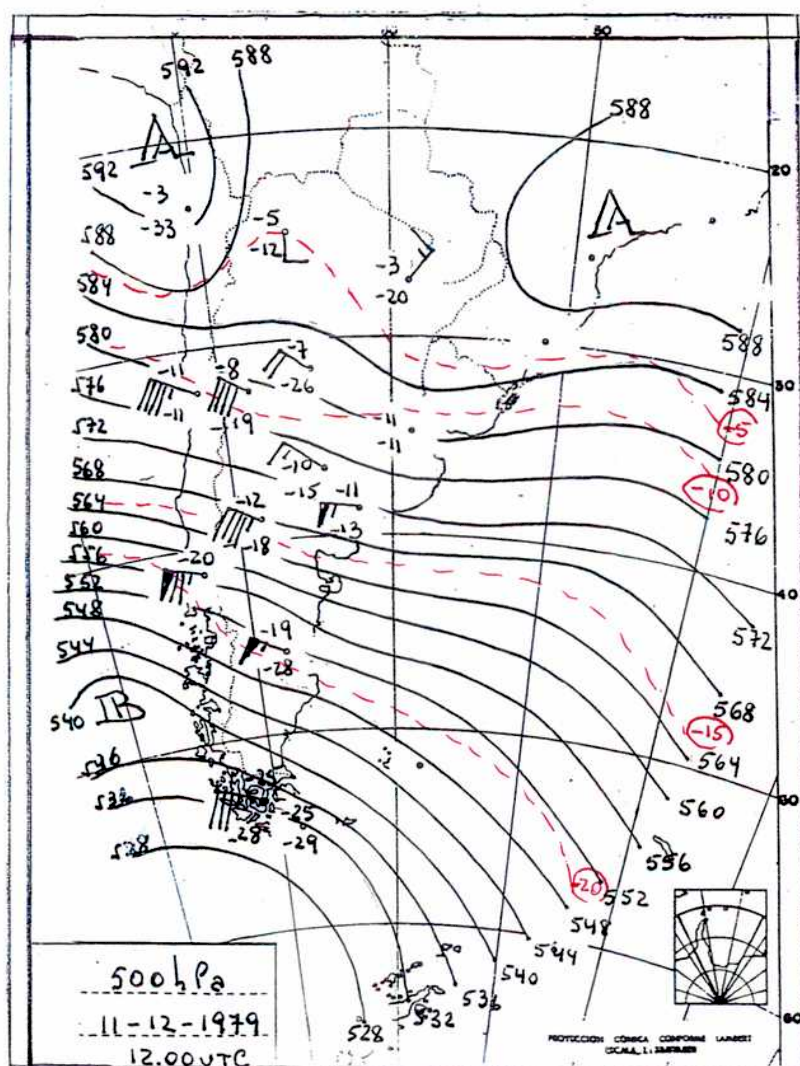


Figura 2.45 — Análisis de alturas geopotenciales de 500 hPa  
-----Isothermas

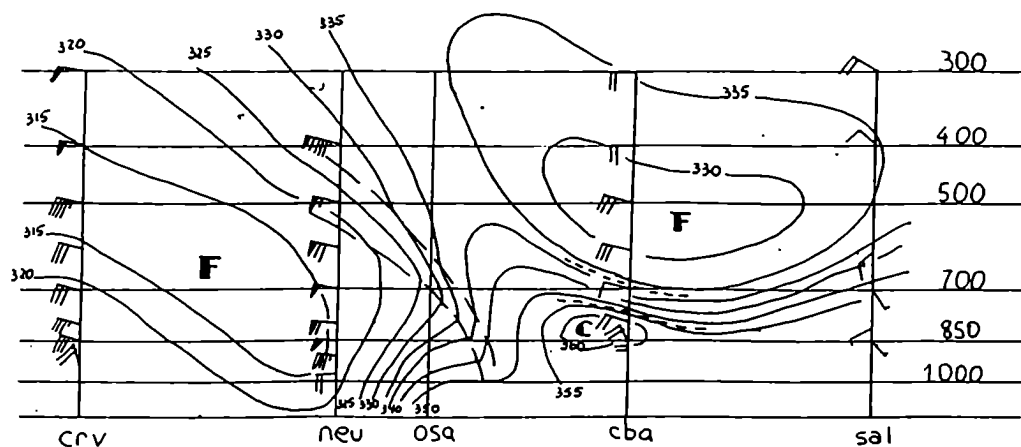
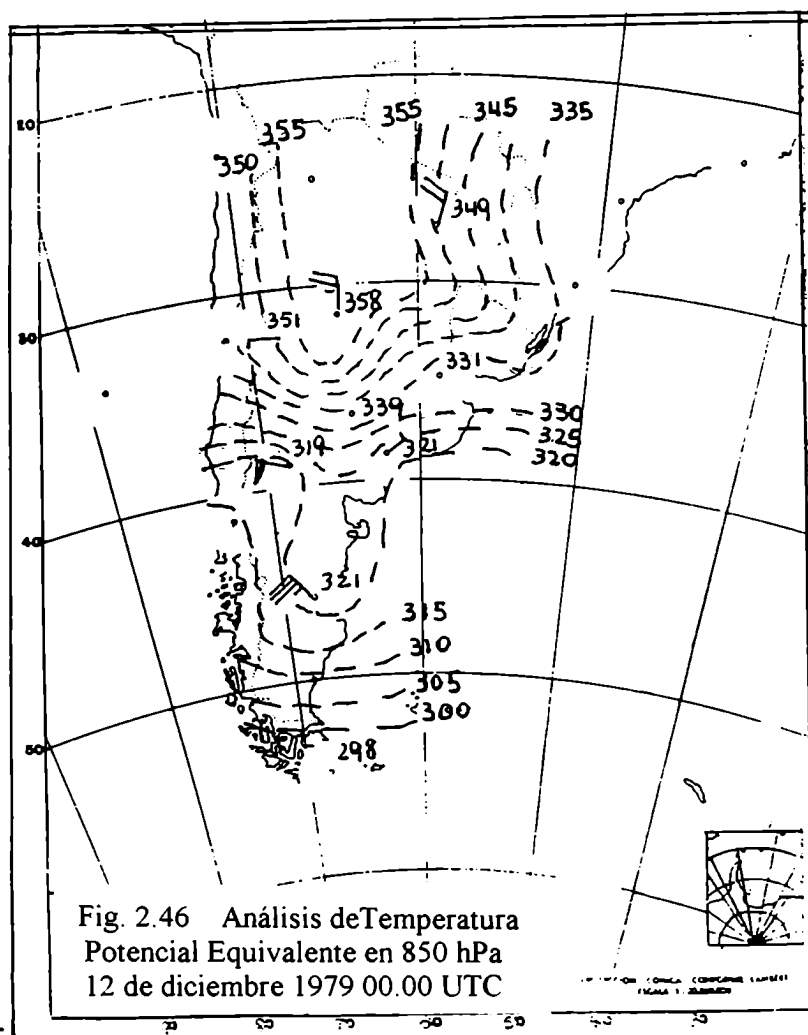


Fig. 2.47 Corte Vertical de Temperatura Potencial Equivalente  
12 de diciembre 1979 00.00 UTC

CRV - Comodoro Rivadavia  
NEU - Neuquén  
OSA - Santa Rosa  
CBA - Córdoba  
SAL - Salta

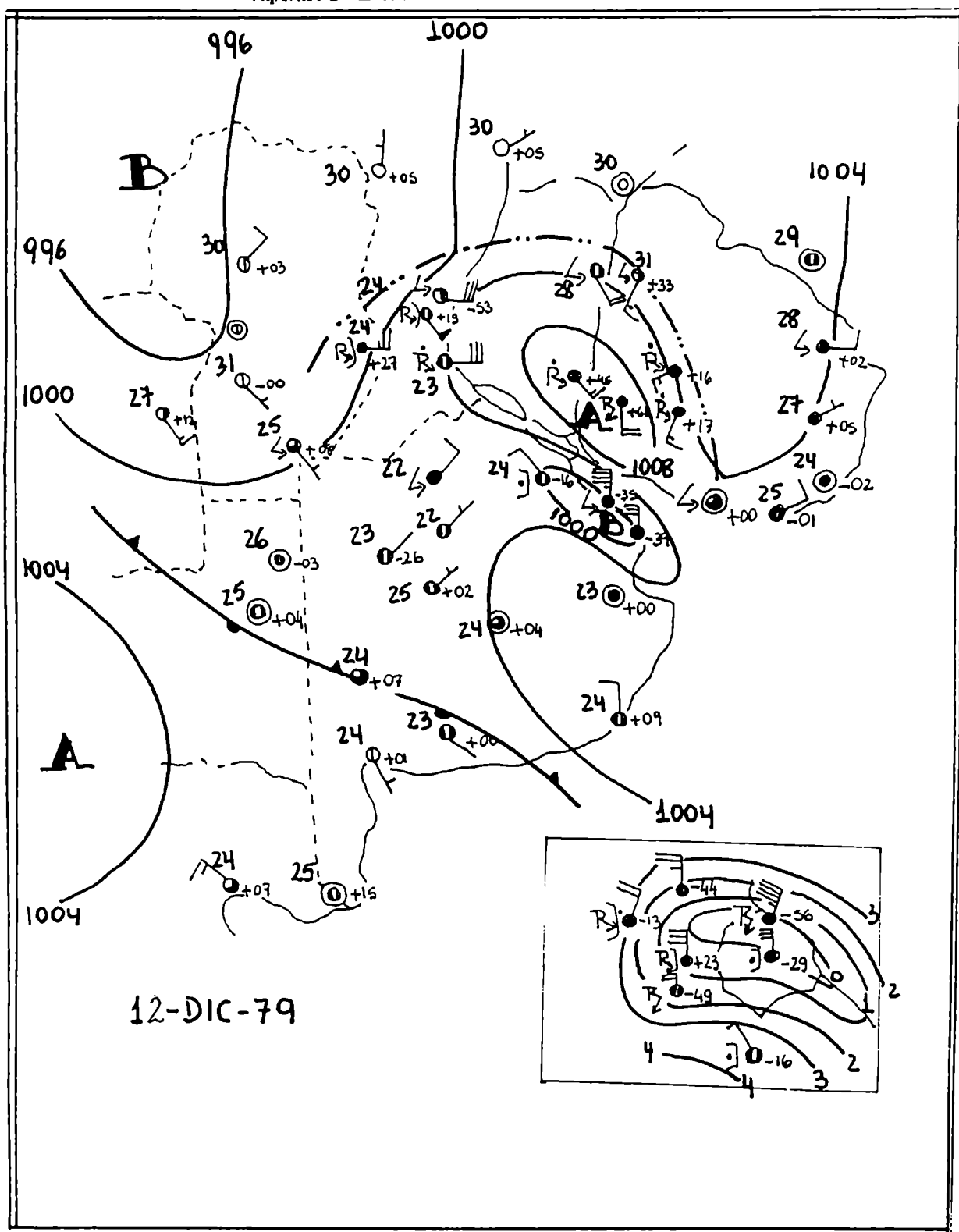


Fig.2.48 Análisis de la sectorización de superficie(hPa) del 12 de diciembre de 1979 00.00 UTC

## Capítulo 2 - Estudio de tres Líneas de Inestabilidad

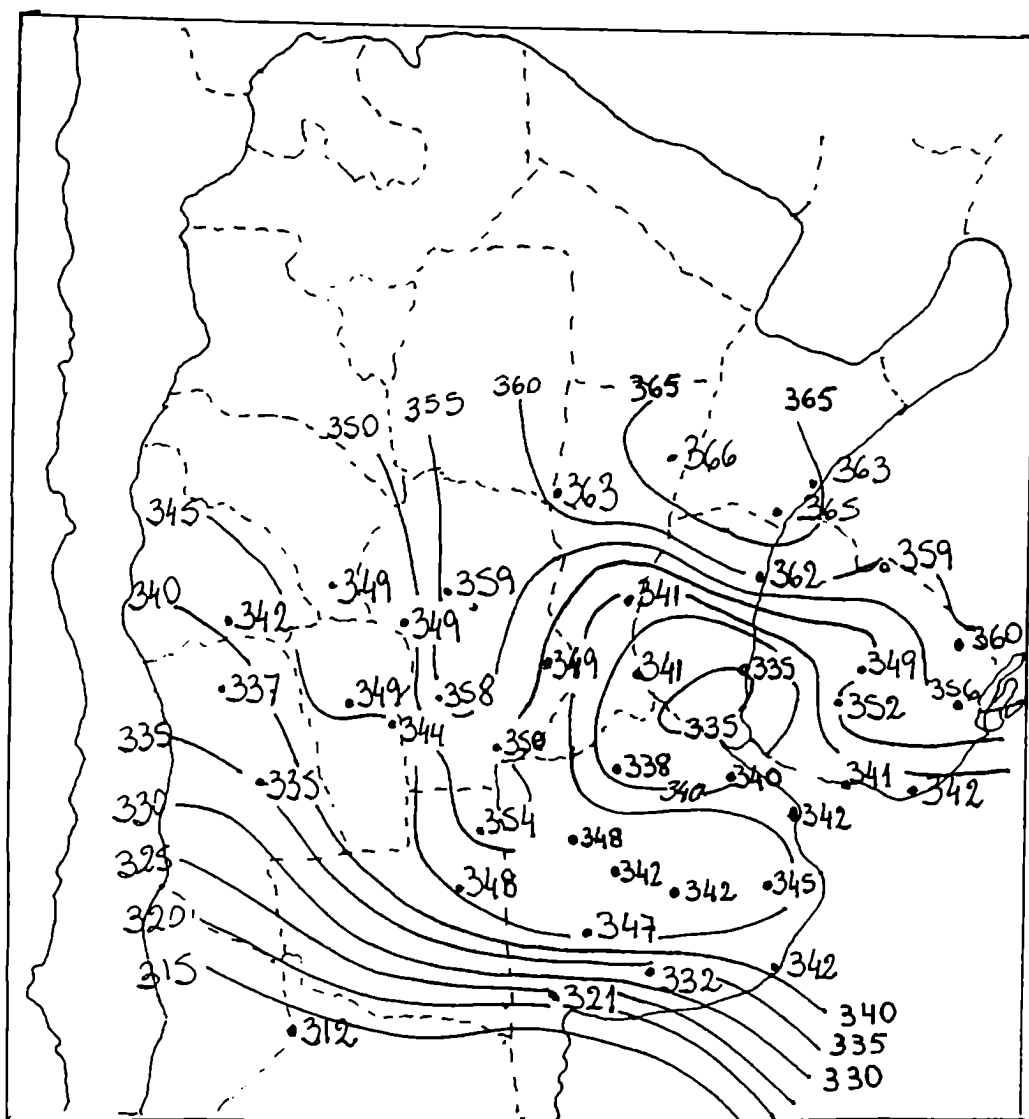


Fig.2.49 Análisis del campo de temperatura potencial equivalente de superficie del  
12 de diciembre de 1979 00.00 UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres Líneas de Inestabilidad

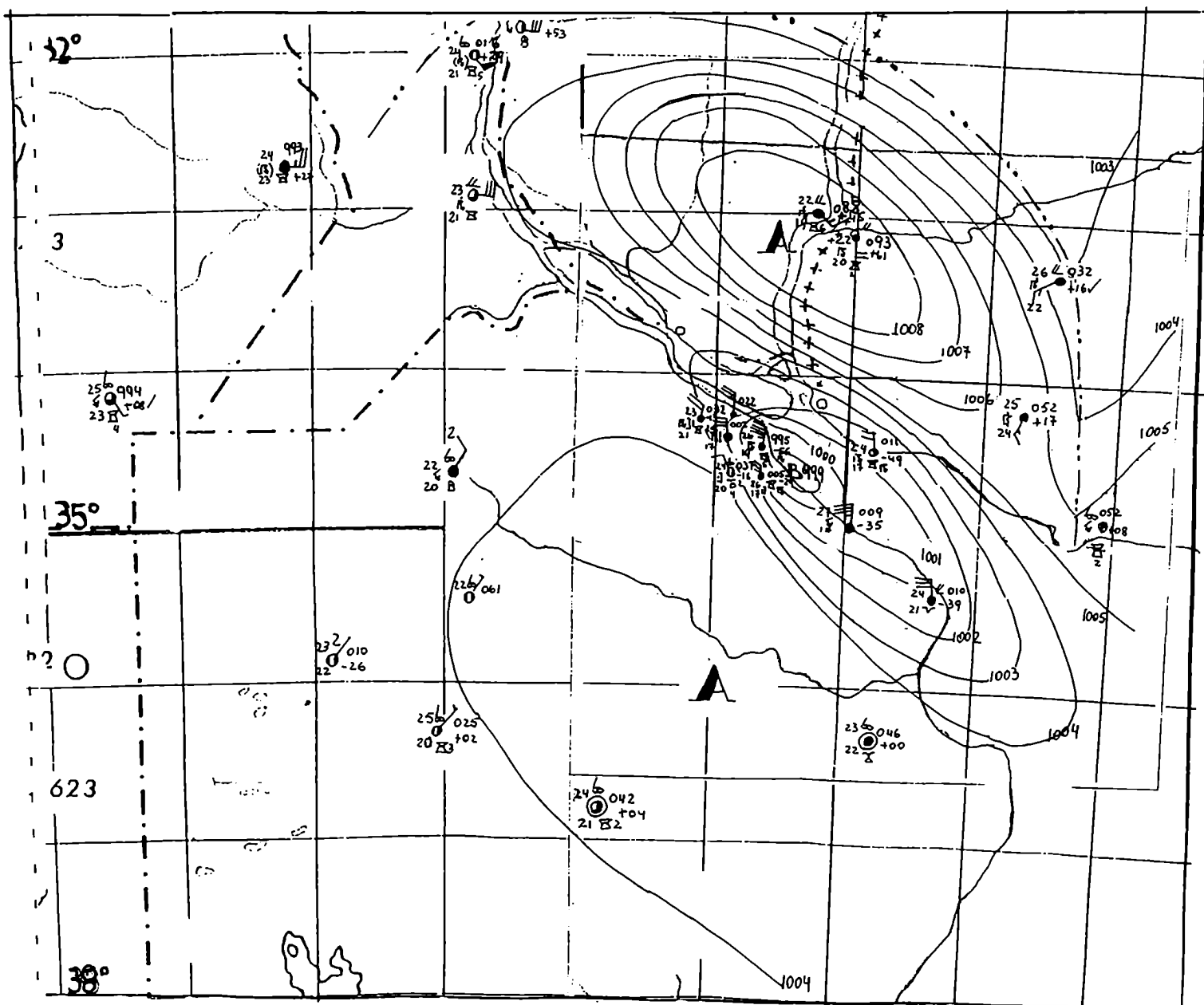


Fig.2.50 Mesoanálisis de la depresión de estela (hPa) del 12 de diciembre de 1979 00.00 UTC

Capítulo 2 - Estudio de tres Líneas de Inestabilidad

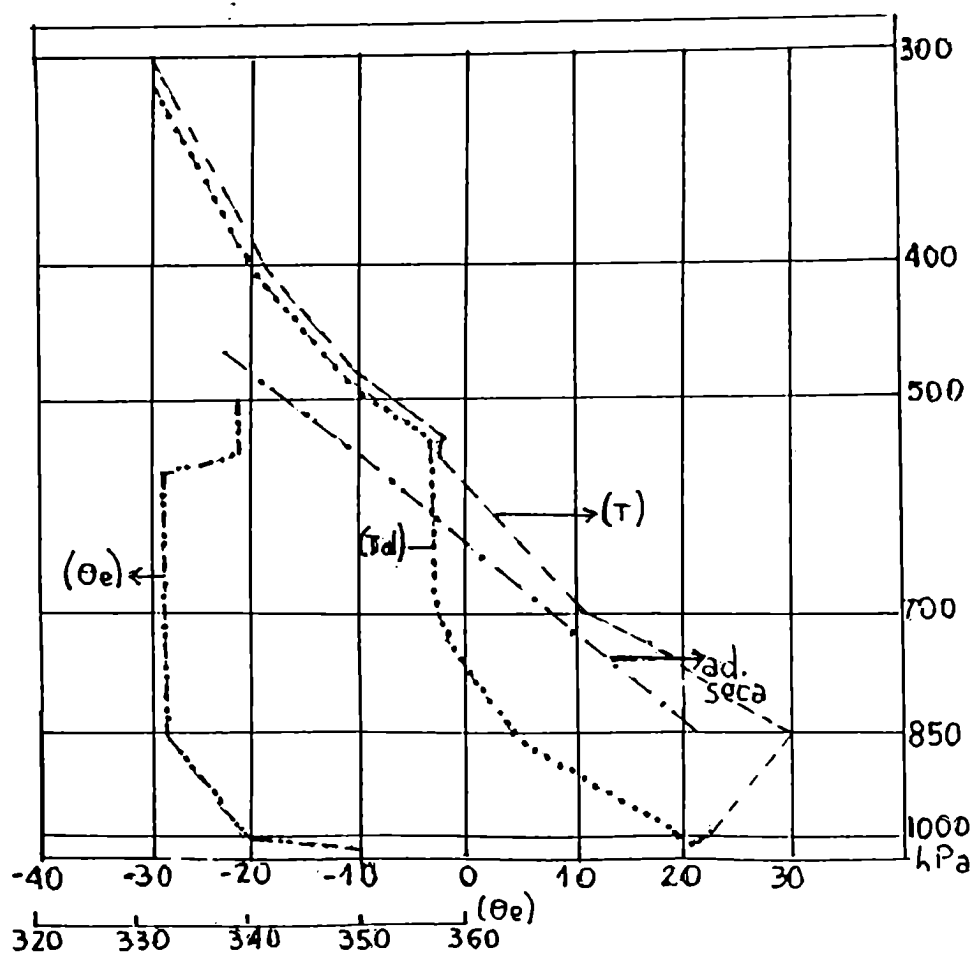


Fig.2.51 Radiosondeo de la estación meteorológica Ezeiza del 12 diciembre de 1979 00.00 UTC

## 2.3 La línea de inestabilidad del 2 de enero de 1984

### *Introducción*

La línea de inestabilidad del 2 de enero de 1984 fué elegida para su estudio debido a que en su desplazamiento pudo ser captada por el radar M33 ubicado en la estación meteorológica Ezeiza cuándo entró en su área de influencia.

A partir del estudio de las imágenes de radar, análisis de los sondeos y la cortante de viento desde la baja a la media tropósfera entre otros parámetros, se la encuadró de acuerdo con su organización en mesoescala.

### 2.3.1 Situación sinóptica

#### *1 de enero de 1984 a las 12.00 UTC*

El día 1 de enero de 1984 un frente frío penetraba por el sud de la Patagonia y avanzaba hacia el noreste .

En el nivel de 850 hPa, una lengua de aire cálido y húmedo entraba desde el norte hacia el centro del país asociada con una débil corriente en chorro del norte. Una perturbación ciclónica se encontraba próxima a Neuquén (Fig.2.52).

En 700 hPa , la perturbación ciclónica se ubicaba en el meridiano 75 °O, mientras la zona central del país estaba ocupada por una masa de aire seco (Fig. 2.53).

En 500 hPa puede observarse sequedad de la masa de aire en la región central del país .Una corriente en chorro de dirección noroeste penetraba desde el Océano Pacífico alrededor de los 35° S en el nivel de 250 hPa (Fig. 2.54).

La figura 2.55 muestra que en el nivel de 850 hPa una lengua de aire inestable se dirige, asociada con una corriente en chorro de dirección norte, hacia el oeste de Santa Rosa donde la proyección horizontal de esa corriente en chorro se intersecta con la de una corriente en chorro superior.

#### *Análisis detallado de la línea de inestabilidad*

La línea de inestabilidad comienza a manifestarse en superficie el día 1-1-1984 a 18.00 UTC al sudoeste de Mendoza y norte de Neuquén . Un débil frente caliente se hallaba al noreste de la provincia de Buenos Aires, dejando una masa de aire cálida y más húmeda al norte del mismo ( Fig. 2.56).

En la imagen NOAA 7 visible de las órbitas de 18.14-19.56 UTC (Fig. 2.57) ,se puede observar los primeros indicios de la línea de inestabilidad , que se manifestaban por la actividad convectiva en San Rafael .

Una caída en la temperatura de 10° C se registró en Malargue debido a la precipitación proveniente de la convección iniciada en la falda oriental de la cordillera , que luego se organizó como una línea de inestabilidad (Fig.2.58).

La línea de inestabilidad orientó su desplazamiento hacia el noreste alcanzando a las 09.00 UTC del 2 de enero , el sud de Córdoba y el centro - noroeste de Buenos Aires , con cambio de viento al sector sudoeste y ráfagas superiores a 15 m/s en Río Cuarto. Dentro de la provincia de Buenos Aires no se observaban ráfagas intensas con el pasaje de la línea de inestabilidad (Fig. 2.59)

A medida que la línea continuó su desplazamiento hacia el noreste, pudo observarse que el sector sud de la misma mantuvo su intensidad en el centro de la provincia de Buenos Aires, en tanto que el sector norte se desplazó rápidamente hacia el sud del litoral debilitándose y alcanzando a las 12.00 UTC el sud de Santa Fe (Fig. 2.60).

#### *2 de enero a las 12.00 UTC*

El día 2 de enero, el frente frío había alcanzado el sud de Mendoza y sudoeste de Buenos Aires ; un frente caliente se hallaba en el centro de Buenos Aires y la línea de inestabilidad había traspuesto Marcos Juárez, General Pico y Guaminí.

La lengua de aire cálido y húmedo en 850 hPa (Fig. 2.61) desplazada hacia el este con respecto al día anterior se extendía hacia el centro-este de Buenos Aires.

Una débil corriente en chorro de dirección noroeste se dirigía desde el noreste del país hacia el sud de Entre Ríos.

Los elevados índices de inestabilidad , particularmente en Santa Rosa y Ezeiza , cuenta de la potencialidad convectiva de la masa de aire allí presente.

La perturbación ciclónica en 700 hPa, se había desplazado hacia el este en las últimas 24 horas ubicándose en el meridiano 63° O y por detrás de ella penetraba una masa de aire más frío y seco (Fig. 2.62).

Una vaguada con eje en el meridiano 68° O en 500 hPa acompañaba a la perturbación de niveles más bajos, mientras que se acentuaba el secamiento de la masa de aire en la región central del país ( Fig. 2.63).

En el nivel de 250 hPa , una nueva corriente en chorro de dirección sudoeste penetraba desde el Pacífico hacia Puerto Montt y Neuquén (Fig. 2.63 ).

El mayor índice de inestabilidad “Total- Totals” corresponde a Bahía Blanca , hacia donde se dirige la corriente en chorro en 850 hPa y la de 250 hPa ( Fig. 2.64).

#### *Análisis del radiosondeo en Ezeiza*

Del análisis del radiosondeo de la estación meteorológica Ezeiza del día 2 de enero a 12.00 UTC , se calculó la cortante de viento , como uno de los parámetros necesarios para clasificar la línea de inestabilidad de acuerdo con Houze Jr.et.al. (1990), obteniéndose los siguientes resultados:

Desde superficie hasta 3000 metros : viento de dirección 280° /10 kts

De 3000 metros hasta 6000 metros : viento de dirección 250° /10 Kts

Desde superficie hasta 6000 metros: viento de dirección 262 ° /10 Kts

#### *Análisis detallado de la línea de inestabilidad*

La línea de inestabilidad en su desplazamiento hacia el noreste se fragmentó.

En efecto a 18.00 UTC del 2 de enero, el sector norte de la misma se ubicaba al sudoeste de Entre Ríos , en tanto que el sector sud se hallaba muy próximo a Ezeiza. Además , había actividad convectiva en el centro de la provincia de Buenos Aires (Fig. 2.65).

En la imagen NOAA 7 visible de las órbitas de 18.00 - 19.44 UTC, el sector sud de la línea está bien definida entre 33 y 36 ° S y próxima a 59 ° O, mientras que de su sector norte quedaron una serie de células convectivas dispersas (Fig .2.66 ).

El pasaje del sector norte de la línea de inestabilidad es el que produce mayor intensidad de ráfagas de viento en superficie . En Río Cuarto a las 09.00 UTC, el viento vira al sector sudoeste con ráfagas superiores a 15 m/s , la temperatura desciende 5 °C y la presión sube 6 hPa (Fig. 2.67)

Cuando se produjo a las 21.00 UTC del día 2 de Enero el pasaje de la porción austral de la línea de inestabilidad por Ezeiza , se registró cambio de viento al sector sud, disminución de la temperatura de 27.6°C a 19.4°C, un alza en los valores de presión de 5 hPa y chaparrones y tormentas eléctricas (Fig.2.67 ) .

El sector norte de la línea, que se encontraba en el centro de Entre Ríos, se hallaba en estado de disipación.

### 2.3.2 Imágenes de radar

Del estudio de las imágenes del radar M33 ubicado en el Aeropuerto de Ezeiza tomadas el día 2 de enero cuando la línea de inestabilidad entró en su área de influencia (Fig. 2.69), se pudieron extraer ciertas características en la configuración de la misma

- a) Línea convectiva de avance de forma convexa
- b) Orientación noroeste-sudeste
- c) Fuerte reflectividad en el lado de avance.
- d) Desplazamiento de la línea con una componente noreste superior a 10 ms<sup>-1</sup>.
- e) Mayor extensión en la horizontal de la nubosidad estratiforme en relación con la vertical.
- f) Concavidad en el lado posterior que estaría asociado con entrada de aire seco en mesoescala erosionando la porción correspondiente al eco de nubosidad estratiforme. Esta configuración de acuerdo al modelo de Smull and Houze (1985).
- g) Alto grado de organización en mesoescala de acuerdo a la clasificación hecha por Houze Jr et al.(1990).
- h) Ubicación de mayor desarrollo vertical de las células convectivas en el sector sud de la línea de inestabilidad.
- i) Altura del tope de las células convectivas mayor que 12.200 metros durante el pasaje de la línea de inestabilidad.

En base a la interpretación de la imagen del radar de 17:43 UTC, se puede concluir que:

Longitud total de la línea de inestabilidad : 210 Km  
Ancho de la parte central de la línea de inestabilidad : 56 Km  
Ancho de la parte convectiva principal : 17 Km  
Ancho de la porción de nubosidad estratiforme : 39 Km

Se individualizó un eco en particular que se desplazó en dirección 140° a 15m/s, por delante y a lo largo de la línea de inestabilidad.

### 2.3.3 Conclusiones

La línea de inestabilidad del 2 de enero de 1984 se generó dentro de una masa de aire cálido , húmedo e inestable , con una corriente en chorro de dirección norte que llegaba al sud de la provincia de Mendoza. Por encima se hallaba una masa de aire de aire más fría y seca , que asociada con la entrada de una perturbación de onda corta contribuyeron a la formación de la línea de inestabilidad, cuyos primeros indicios se observaron en Malargue y Neuquén.

El alto valor del índice del índice de inestabilidad “Total-Totals” (48) en las cercanías Santa Rosa , donde las proyecciones horizontales de las corrientes en chorro de la baja y alta troposfera se intersectaban, favorecieron el desarrollo de la actividad convectiva.

La línea de inestabilidad en su desplazamiento hacia el noreste fue creciendo en extensión, y 24 horas más tarde la mayor actividad convectiva se concentraba en el sector sud de la misma en la cercanías de la ya mencionada intersección de las proyecciones de ambas corrientes en chorro.

El radar M33 captó a la línea de inestabilidad cuándo entró en su área de influencia, lo que permitió clasificarla de acuerdo con un modelo idealizado de estructura en mesoescala (Houze Jr., 1990), en base a las condiciones del entorno, cortante de viento desde la baja a la media tropósfera, y la distribución de las células convectivas en la misma.

## **2.4 CONCLUSION DEL ESTUDIO DE LAS TRES LINEAS DE INESTABILIDAD**

Las tres líneas de inestabilidad estudiadas se generaron dentro de una masa de aire cálido, húmedo e inestable por delante de un sistema frontal en un campo de apreciable baroclinicidad.

Se generaron en la cercanía del extremo austral de la corriente en chorro en capas bajas , donde el valor del índice “Total-Totals” era superior a 45.

En niveles medios una masa de aire relativamente más fría y seca asociada a la entrada de una perturbación de onda corta , por encima de una masa de aire más cálida en niveles inferiores aportaba suficiente inestabilidad potencial para el desarrollo de la actividad convectiva.

Los fenómenos convectivos más severos se presentaron en dos de los casos, en la confluencia del extremo austral de la corriente en chorro en niveles bajos con la corriente en chorro en niveles superiores en donde el valor del índice de inestabilidad “Total-Totals” era superior a 45.

En uno de los casos el efecto orográfico representado por las sierras de San Luis y Córdoba favoreció la generación de la actividad convectiva severa.

La intensa depresión de estela asociada a una de las líneas , fue generada por el descenso de aire superior proveniente del Anticiclón subtropical del Pacífico en niveles entre 3.000 y 6.000 metros.

El rápido decaimiento observado en el sector norte de una de ellas se debió al efecto de subsidencia , a pesar de la inestabilidad de la masa de aire en la que estaba inmersa.

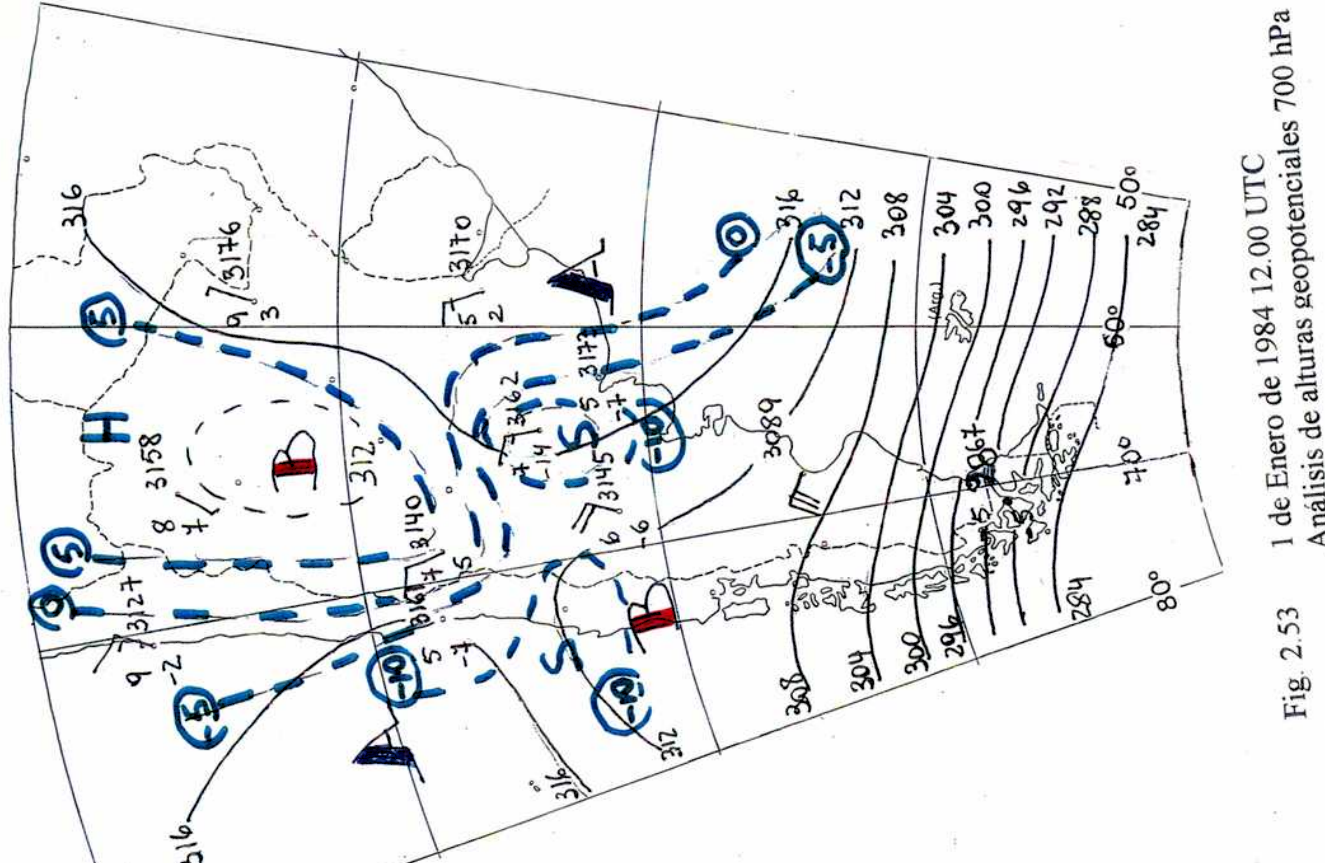


Fig. 2.52 1 de Enero 1984 12.00 UTC  
 Análisis de alturas geopotenciales 850 hPa  
 --- Líneas de temperatura potencial equivalente  
 □ Índice K

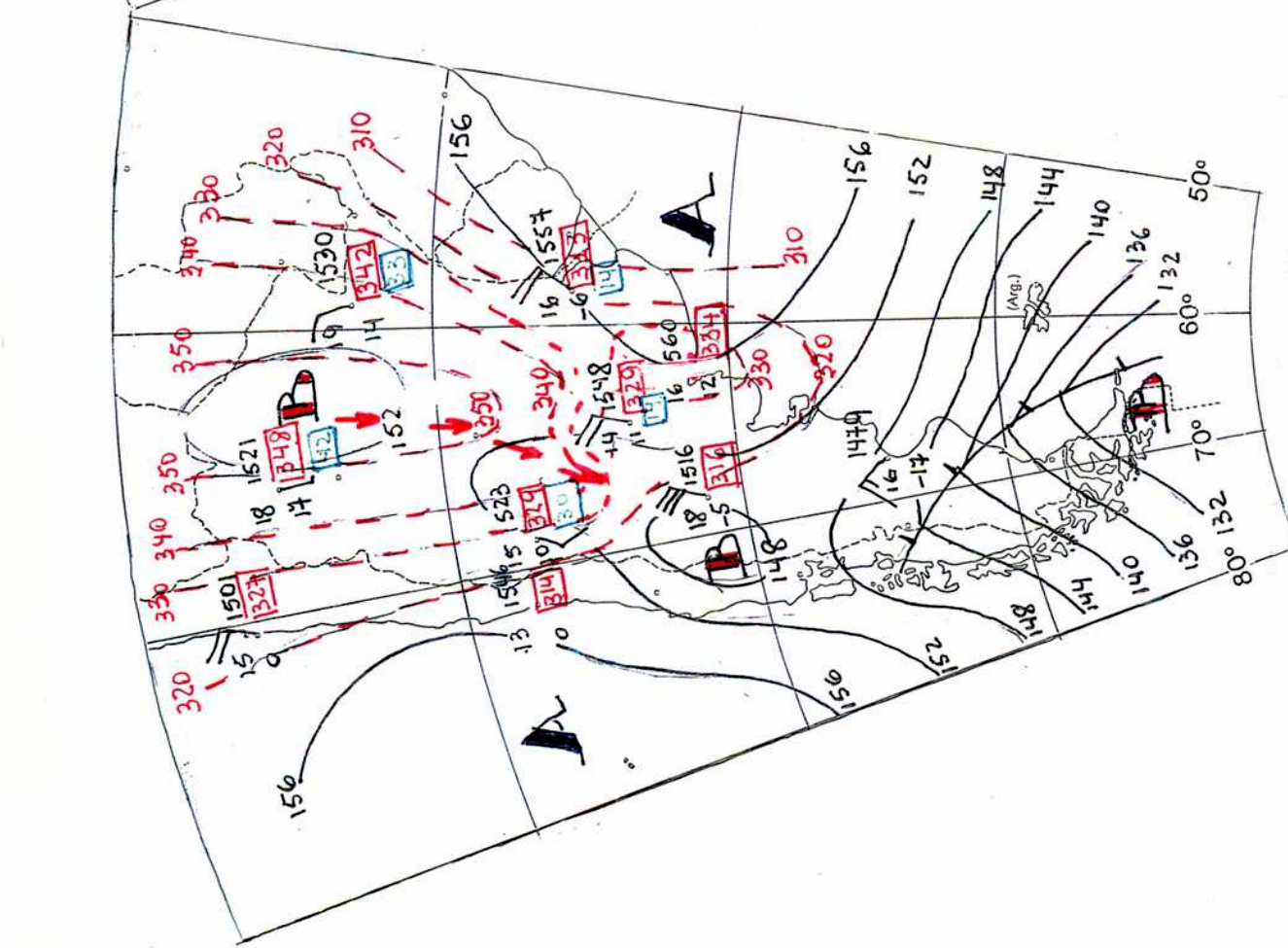


Fig. 2.53 1 de Enero de 1984 12.00 UTC  
 Análisis de alturas geopotenciales 700 hPa  
 --- Isodrosotermas

## Capítulo 2 – Estudio de tres líneas de inestabilidad

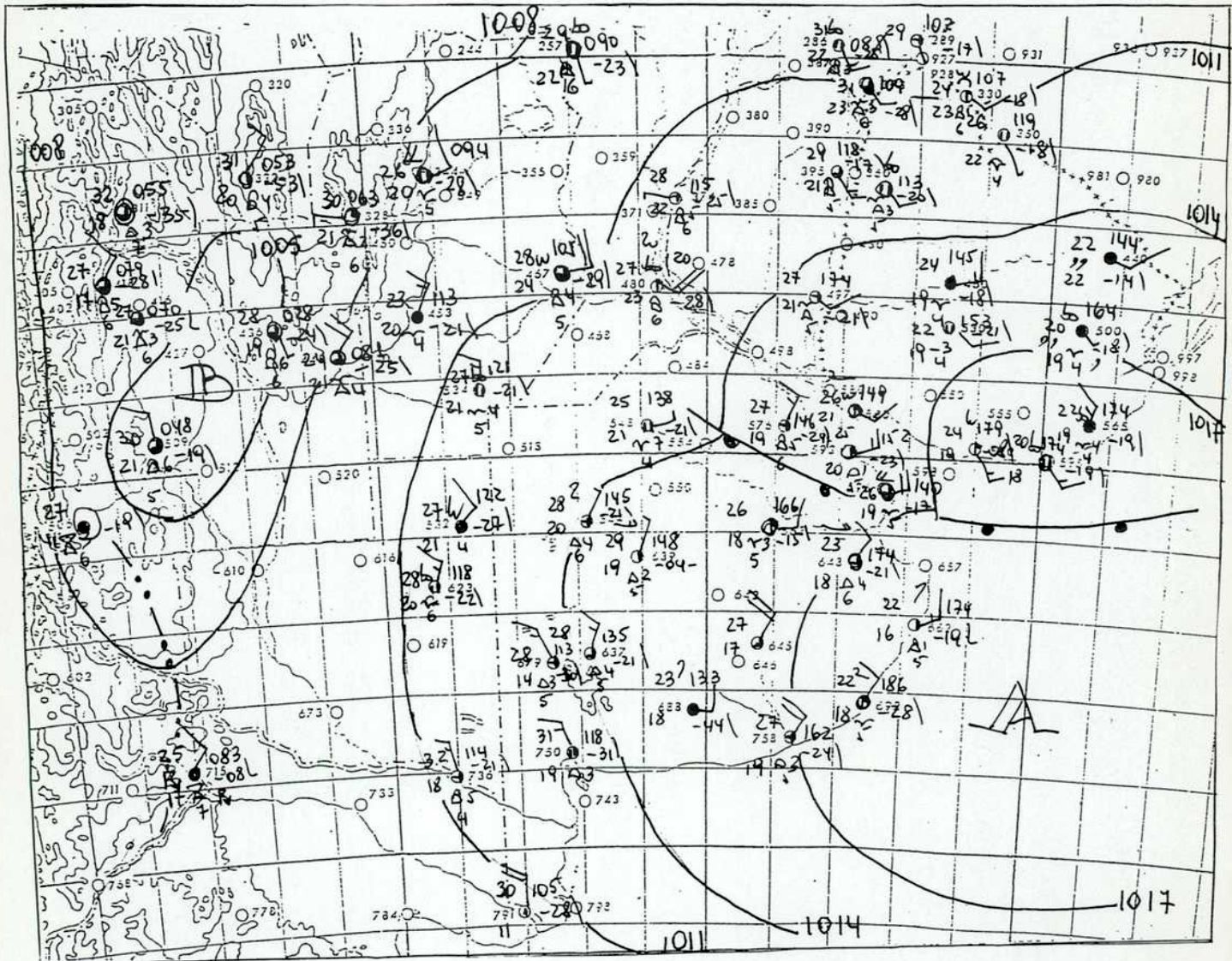


Fig.2.56 Análisis de las sectorización de superficie (hPa) del 1 Enero de 1984 1800UTC

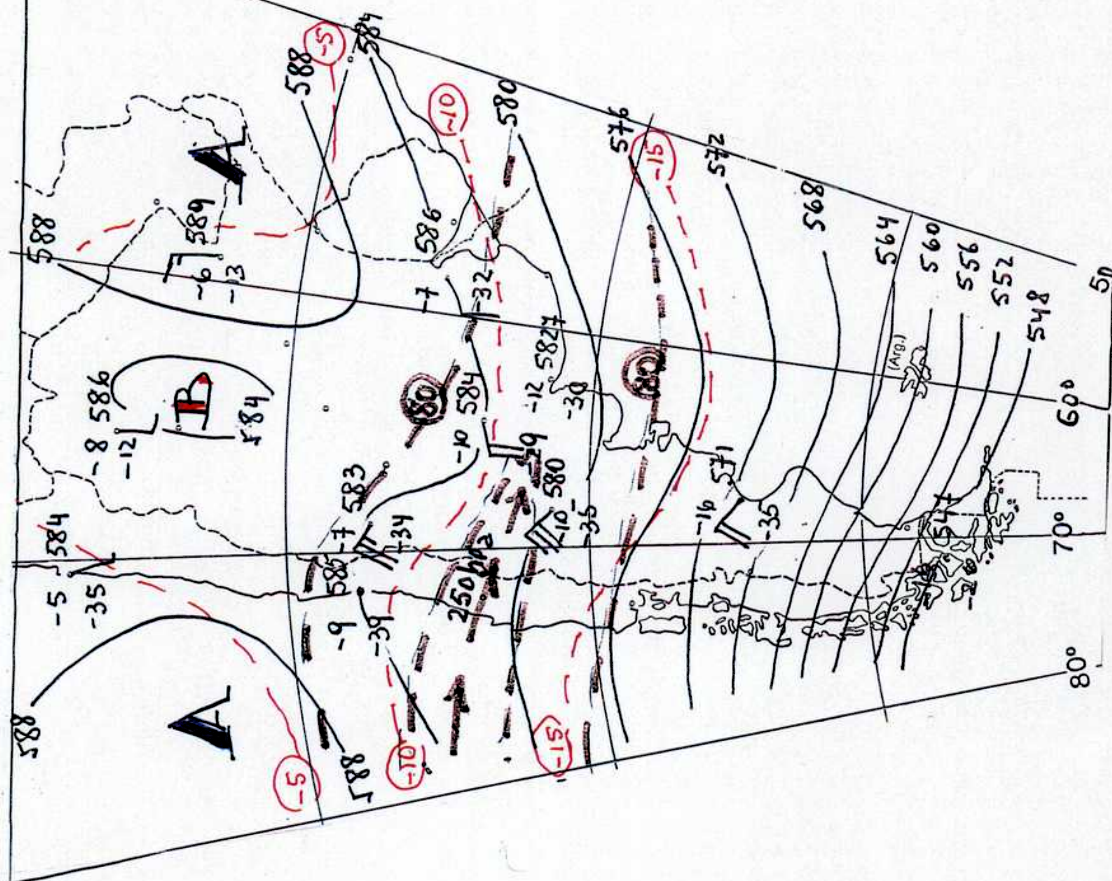


Fig. 2.54 1 de Enero de 1984 12.00 UTC  
Análisis de alturas geopotenciales de 500 hPa  
----- Isotermas  
→ Corriente en chorro en 250 hPa

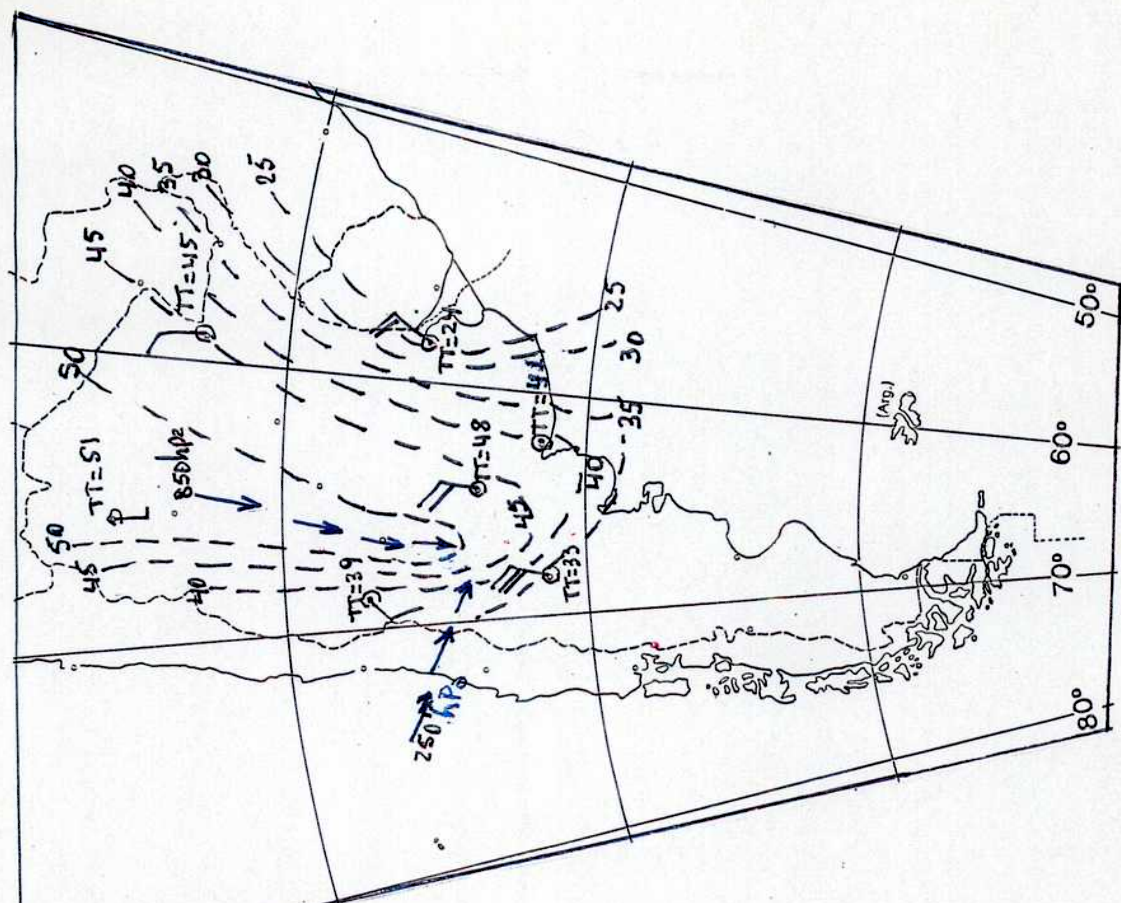


Fig. 2.55 1 de Enero de 1984 12.00 UTC  
Índice "Total-Total"  
→ Corriente en chorro 850 hPa y 250 hPa



Fig. 2.57 Imágen satelital NOAA 7 visible 1 de Enero 1984  
Orbitas 18.14 – 19.56 UTC

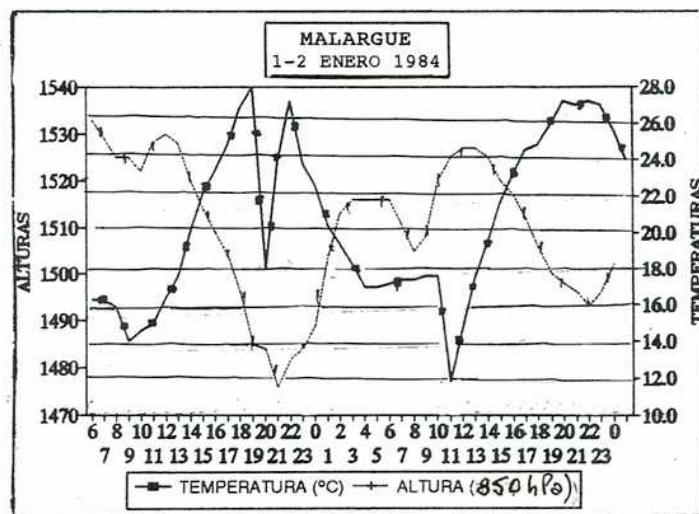


Fig. 2.58 Análisis temporal de Malargue 1-2 Enero 1984

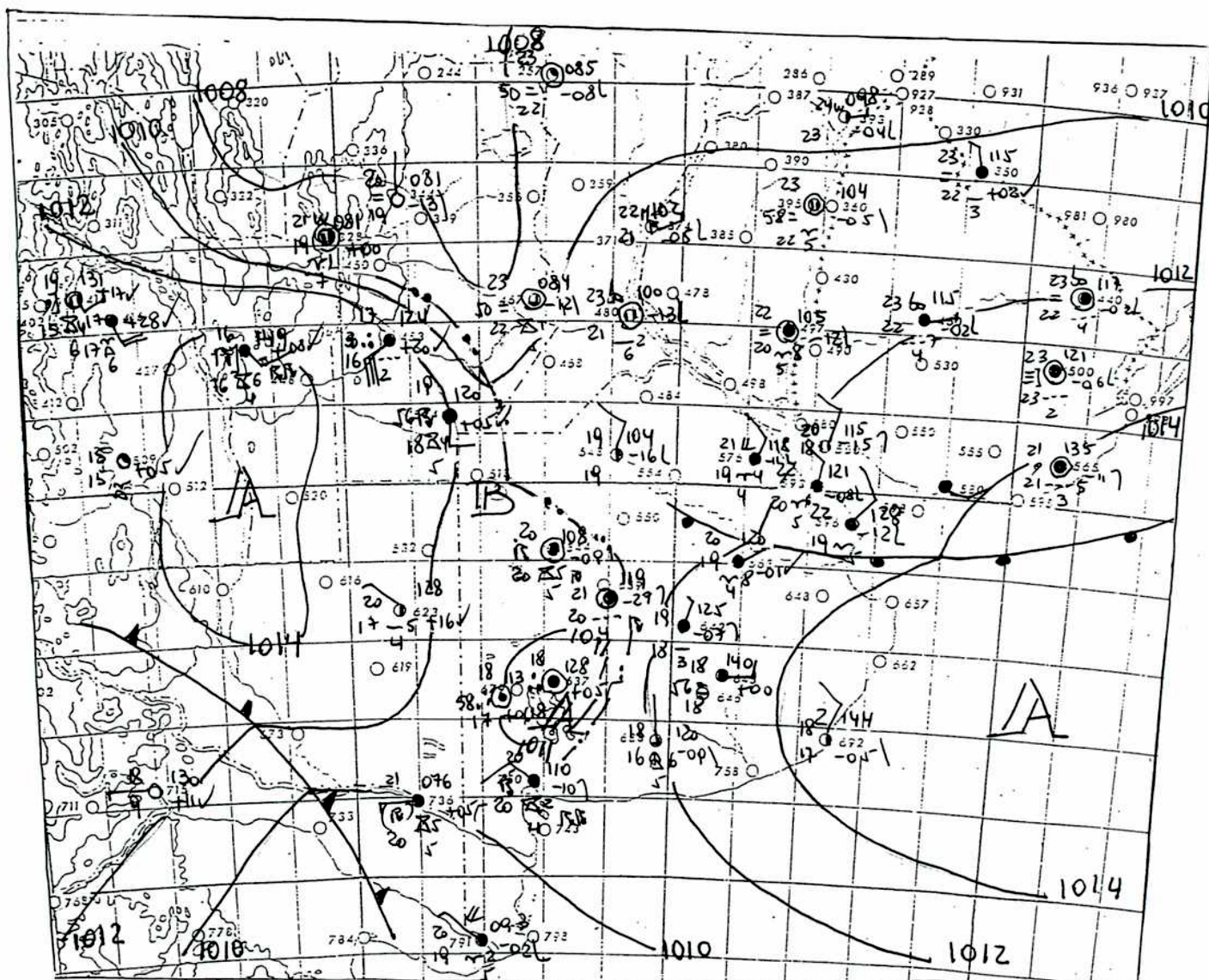
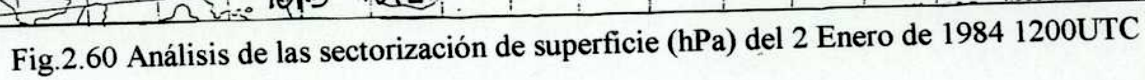


Fig.2.59 Análisis de la sectorización de superficie (hPa) del 2 Enero de 1984 0900UTC



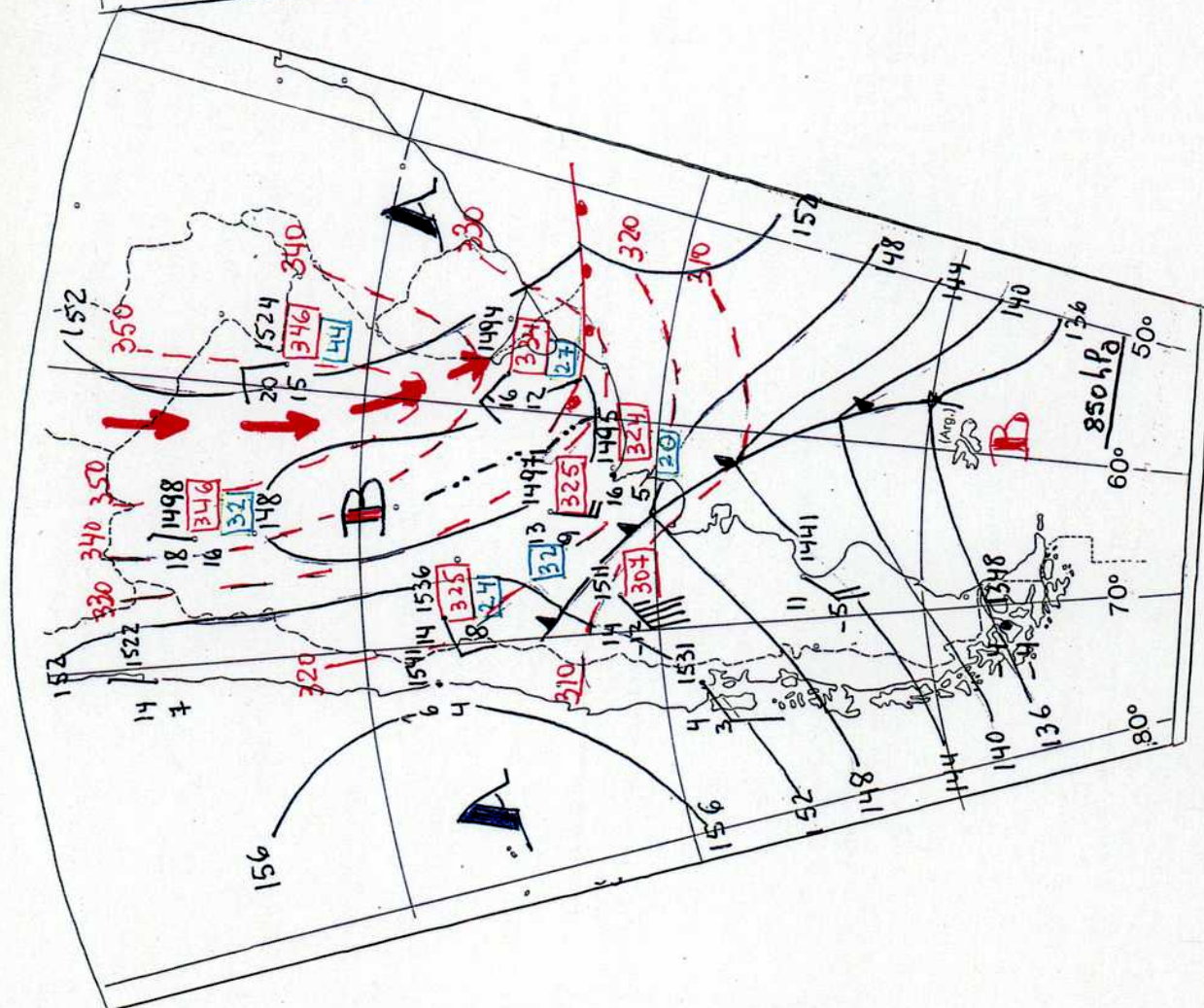


Fig 2.61 1 de Enero 1984 12.00 UTC

— Análisis de alturas geopotenciales 850 hPa  
 - - - - - Líneas de temperatura potencial equivalente  
 □ Índice K

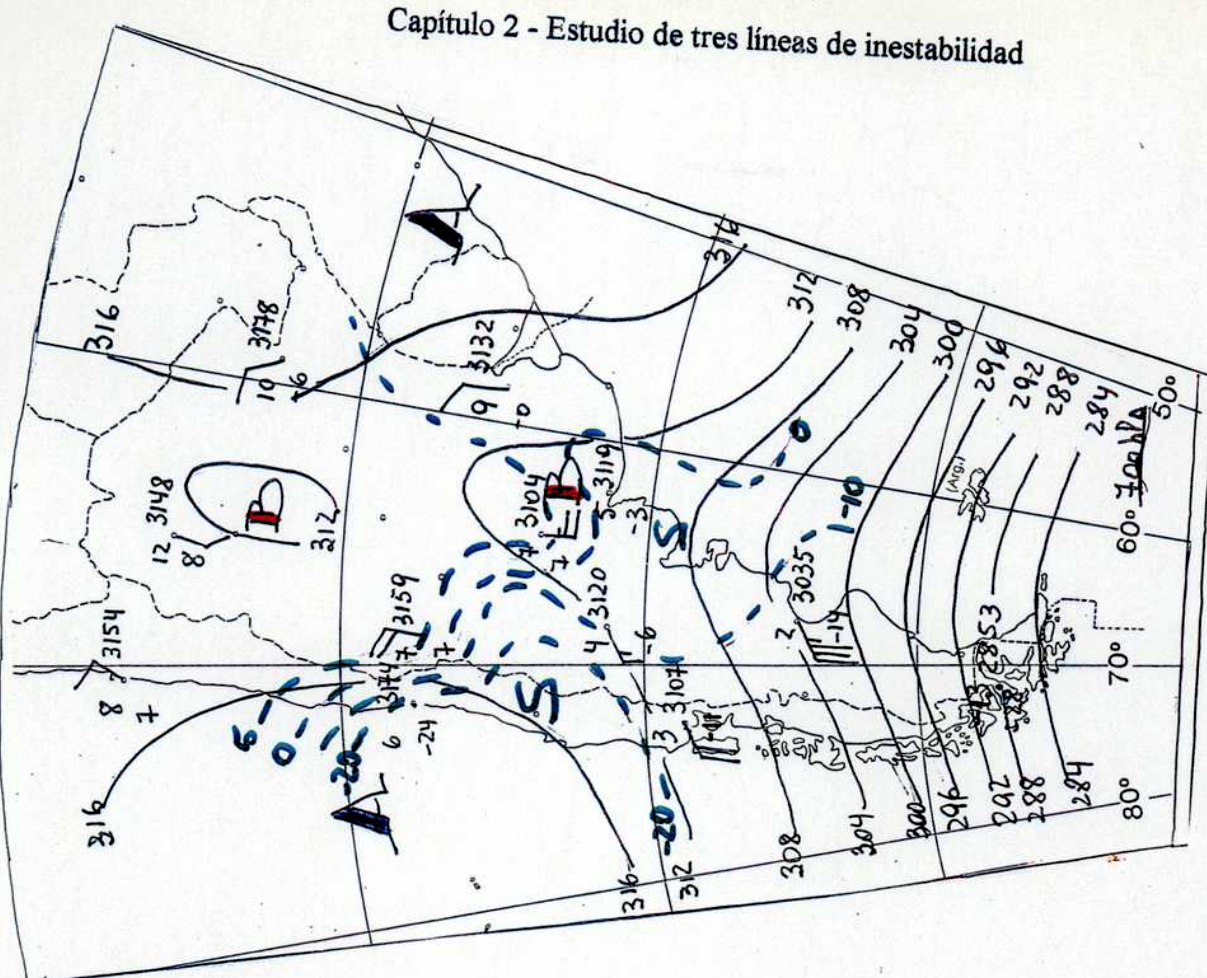


Fig 2.62 1 de Enero 1984 12.00 UTC

— Análisis de alturas geopotenciales de 700 hPa  
 - - - - - Isodrosotermas

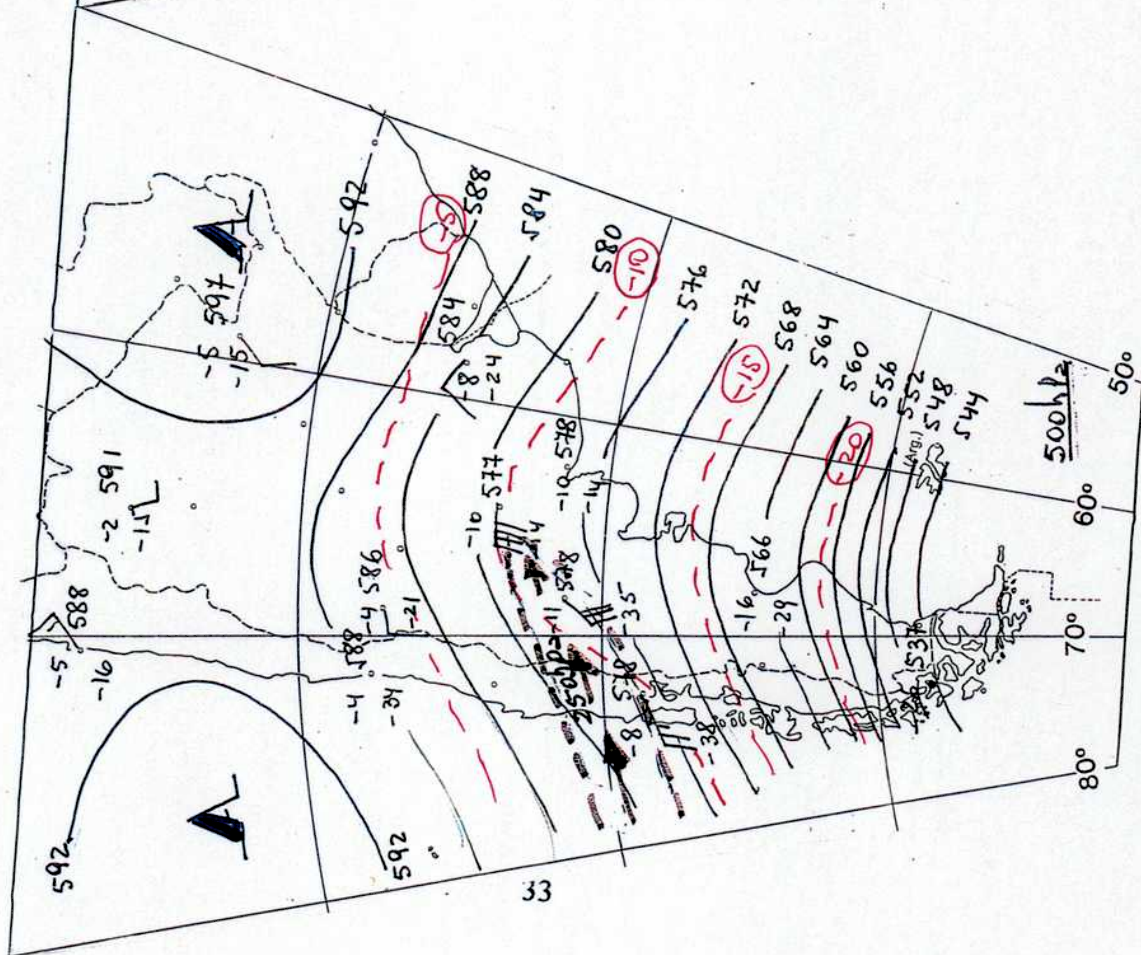


Fig. 2.63 2 de Enero de 1984 12.00 UTC  
 ————— Análisis de alturas geopotenciales de 500 hPa  
 - - - - - Isotermas  
 → Corriente en chorro en 250 hPa

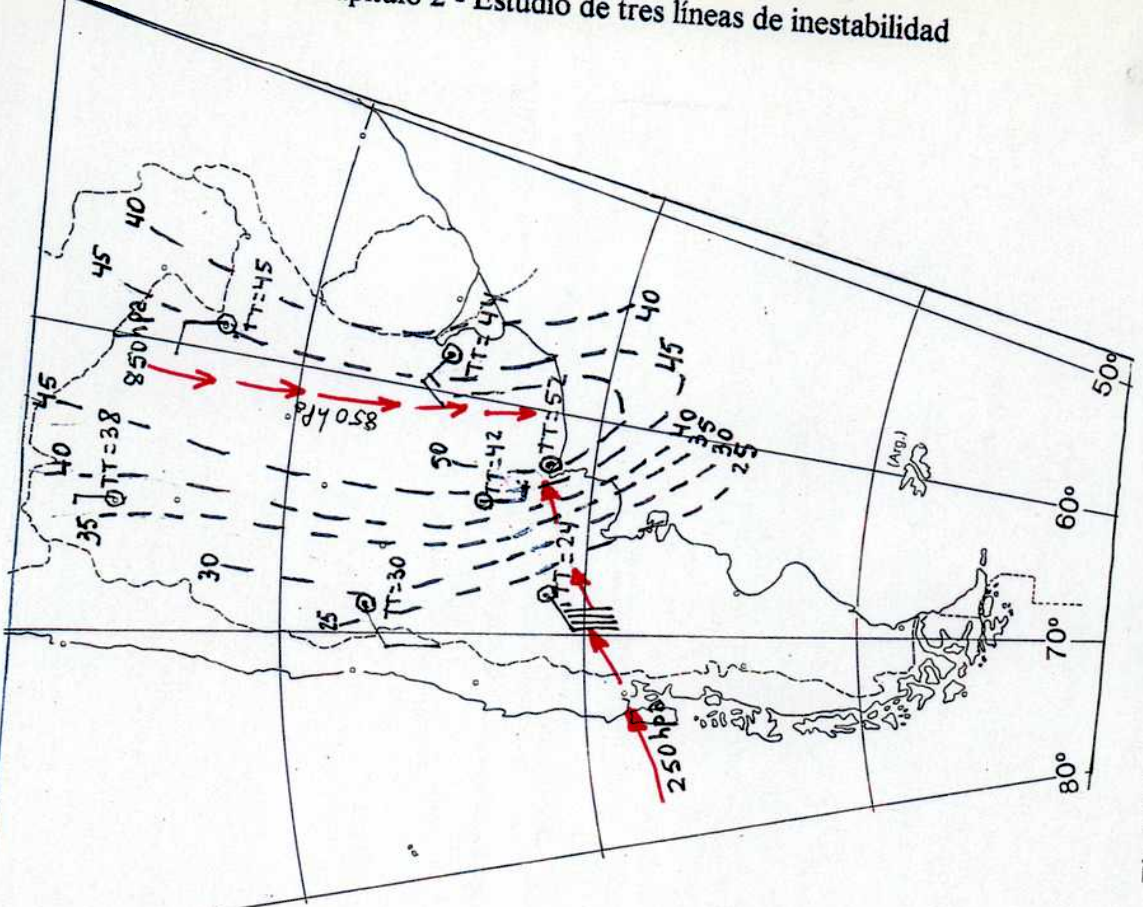


Fig. 2.64 2 de Enero de 1984 12.00 UTC  
 ————— Indice "Total-Total"  
 → Corriente en chorro 850 hPa y 250 hPa

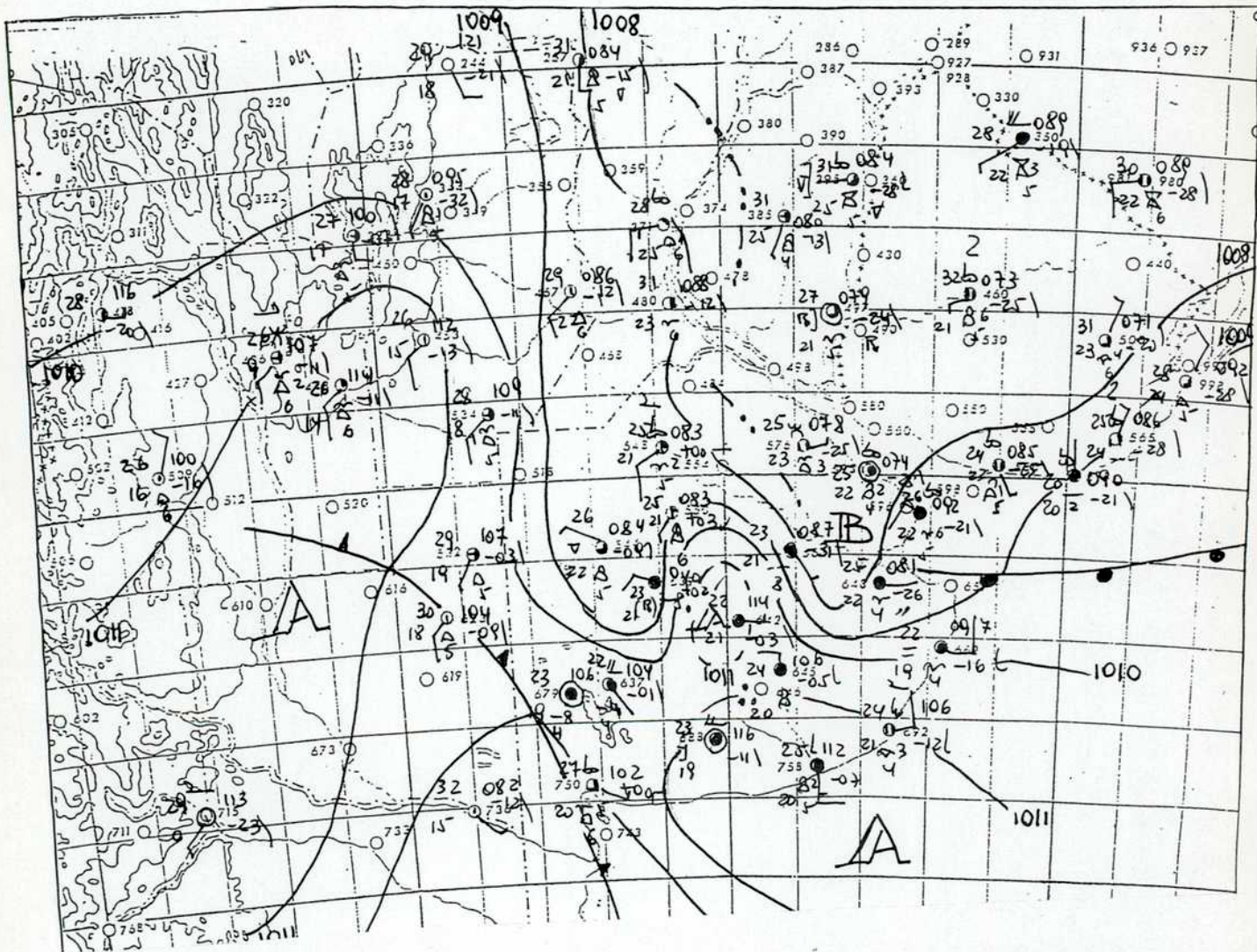
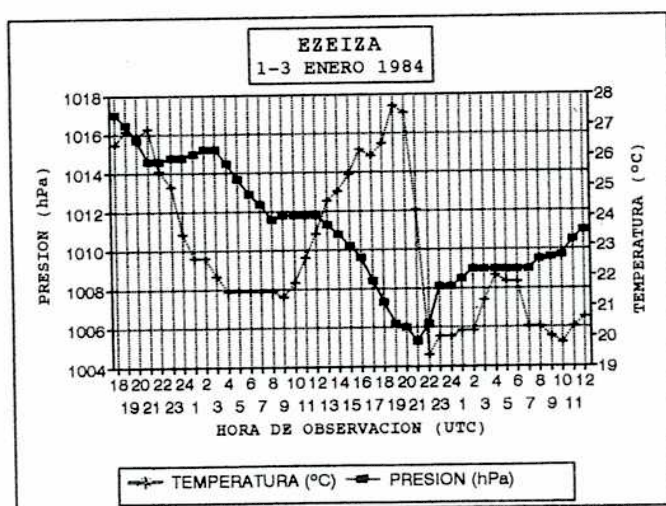
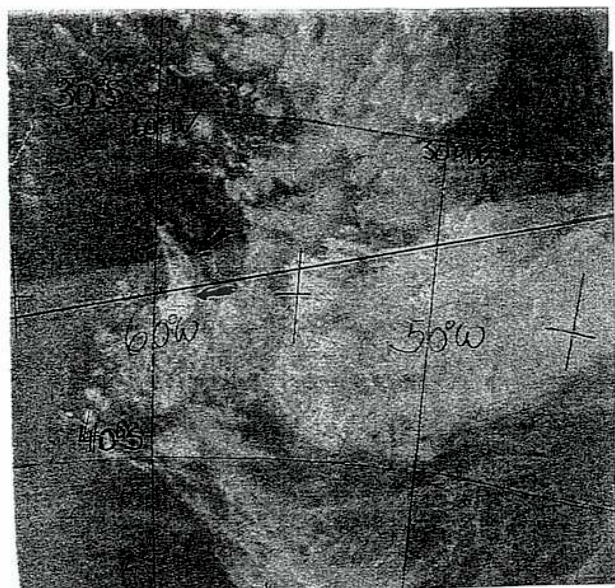


Fig.2.65 Análisis de las sectorización de superficie (hPa) del 2 Enero de 1984 1800UTC

Fig. 2.6b Imágen satelital NOAA 7 visible 1 de Enero 1984  
Orbitas 18.00 - 19.44 UTC



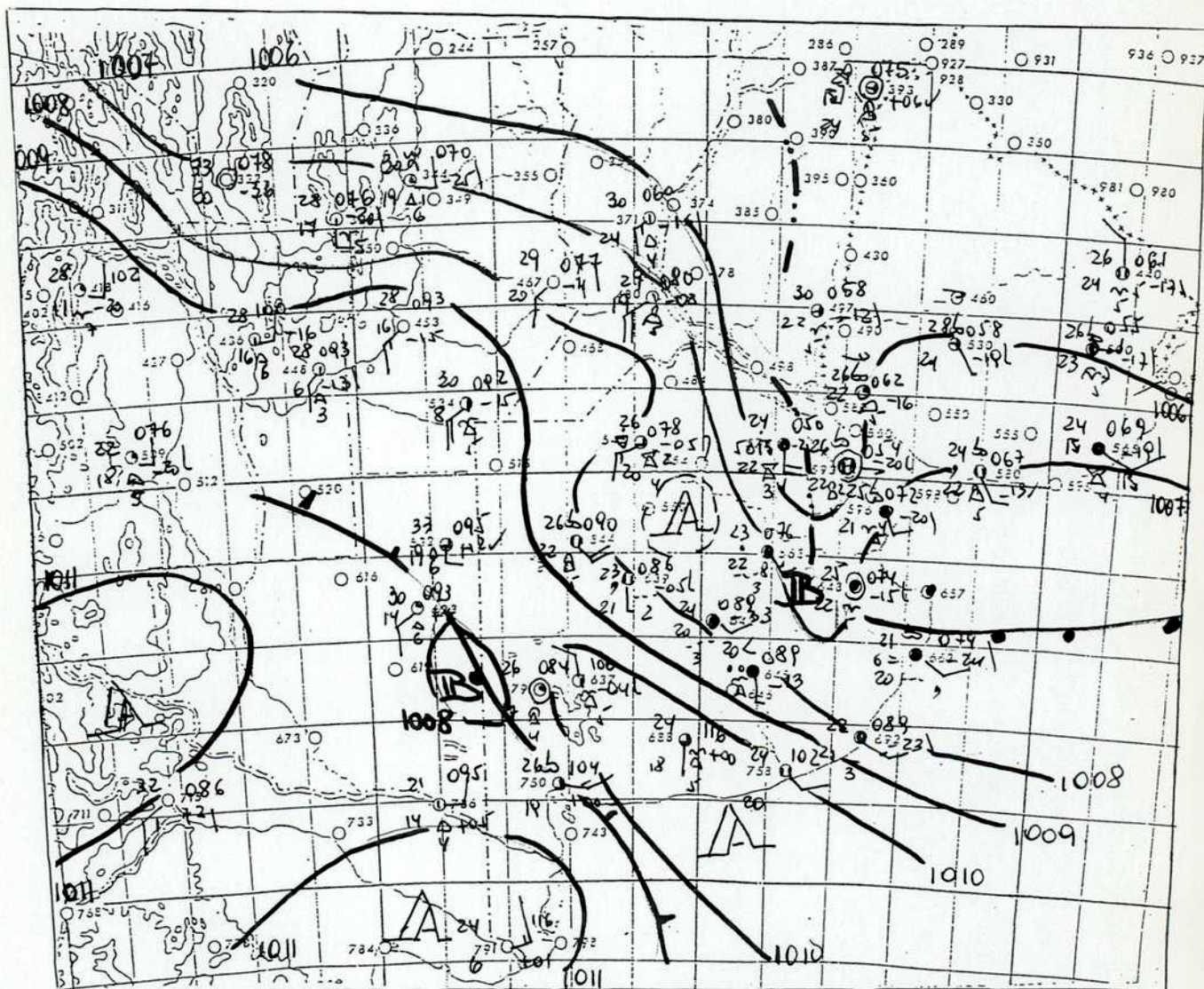


Fig.2.68 Análisis de las sectorización de superficie (hPa) del 2 Enero de 1984 2100UTC

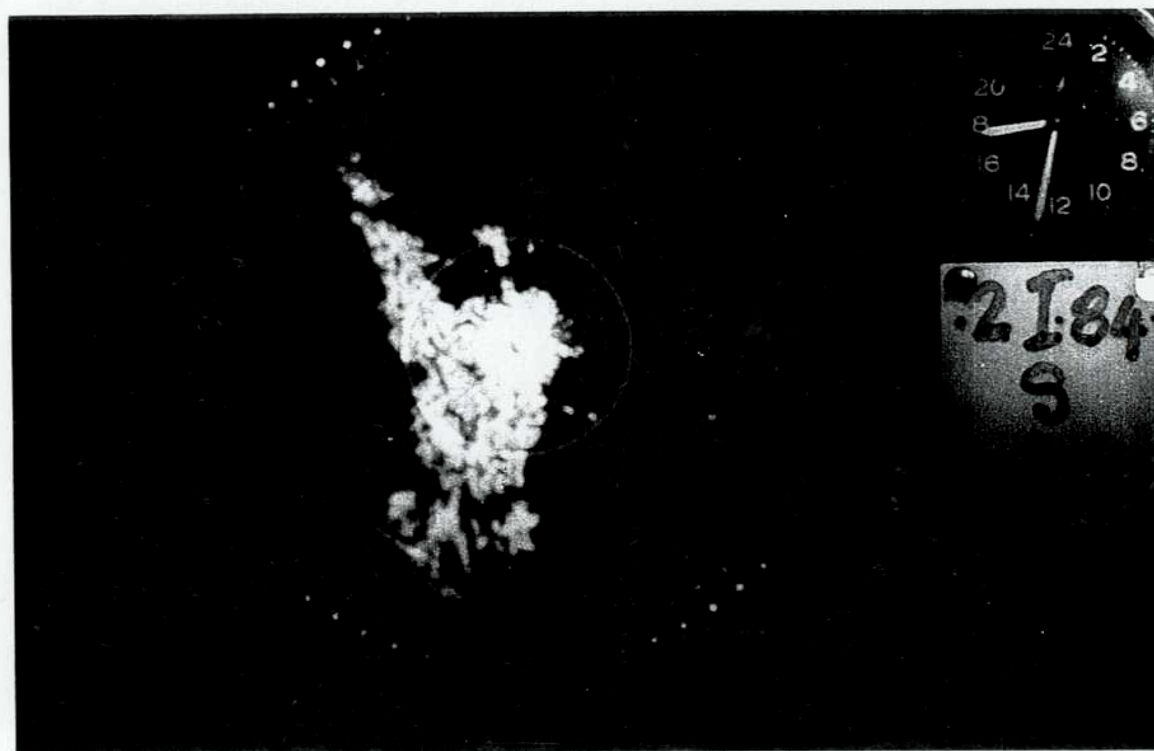
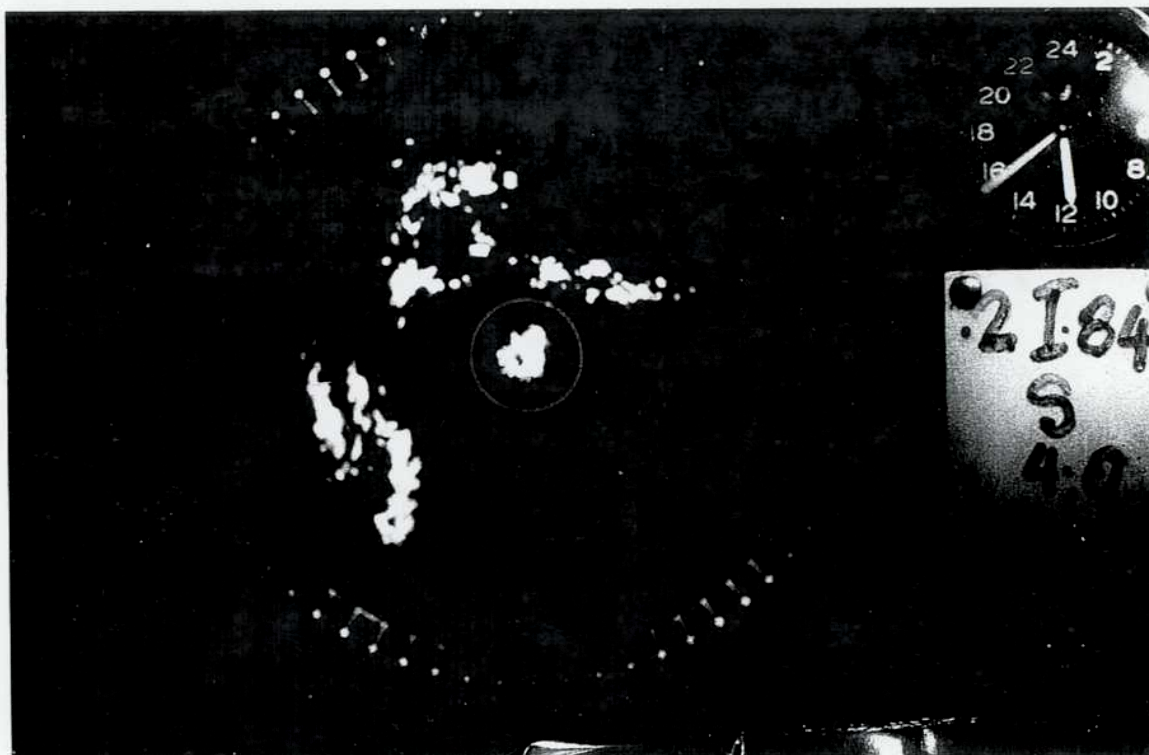


Fig.2.69 Imágenes del Radar M33 en Ezeiza del 2 Enero de 1984  
Arriba 11.39 HOA ; Abajo 17.31 HOA

## ASPECTOS ESTADÍSTICOS DE LINEAS DE INESTABILIDAD EN LA REGIÓN CENTRAL DE ARGENTINA

*En este capítulo se determinan en forma estadística los rasgos más salientes de las situaciones sinópticas, que condujeron a la formación de las líneas de inestabilidad con el fin ulterior de seleccionar parámetros útiles para el pronóstico objetivo del fenómeno.*

### 3.1 Metodología para el tratamiento estadístico de la información meteorológica.

#### 3.1.1 Información utilizada

Se consideraron las líneas de inestabilidad que afectaron un área testigo delimitada por los paralelos  $30^{\circ}$  y  $40^{\circ}$  Sud y los meridianos  $50^{\circ}$  a  $70^{\circ}$  Oeste (Fig.3a). Para ello se utilizó la información de las cartas trihorarias de superficie del Servicio Meteorológico Nacional de los meses enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre de los años 1982 a 1984. No obstante que durante el verano 1982/1983 se observó el fenómeno del “Niño”, se estima que las conclusiones basadas en el período de los tres años considerados son aceptables (Alessandro, 1995).

Se obtuvieron así 109 líneas de inestabilidad que afectaron el área mencionada cuya distribución por meses puede verse en tabla 3.1.

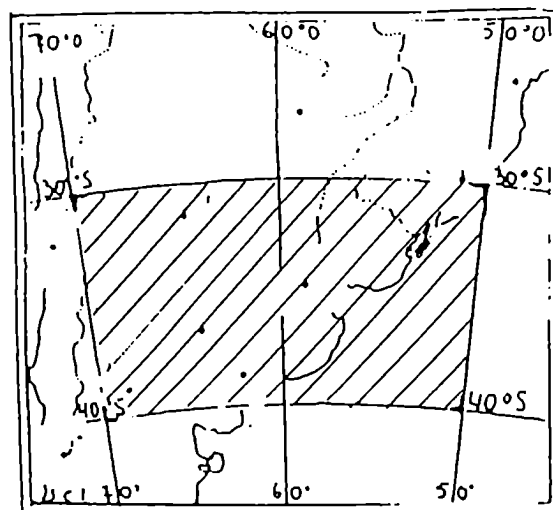


Fig.3.a Area Testigo

Con respecto a la “*situación sinóptica asociada*”, se utilizaron los re-análisis diarios de 12.00 UTC del Centro Europeo de Pronóstico de Mediano Plazo del archivo del Departamento de Ciencias de la Atmósfera, durante el período de tiempo considerado.

Los campos utilizados fueron: altura geopotencial, temperatura y humedad relativa de los niveles 1000, 850, 700, 500 hPa. Estos datos en puntos de reticulado poseen una resolución de 2.5° en latitud y longitud. El área utilizada está delimitada por los paralelos 20 y 55 ° de latitud sud y los meridianos 40 y 120 ° de longitud oeste .

### 3.1.2 Casos seleccionados de líneas de inestabilidad

Se consideró como “*día de línea de inestabilidad*” al período de 24 horas a partir de 12.00 UTC cuando se presenta una línea de inestabilidad (definida en capítulo 1) dentro del área de estudio considerada , que persista al menos durante 3 horas consecutivas.

| AÑO   | ENE. | FEB. | MAR. | OCT. | NOV. | DIC. |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 1982  | 7    | 3    | 3    | 6    | 8    | 5    |
| 1983  | 9    | 5    | 4    | 7    | 6    | 11   |
| 1984  | 9    | 7    | 4    | 3    | 4    | 8    |
| TOTAL | 25   | 15   | 11   | 16   | 18   | 24   |

Tabla 3.1 Distribución de la cantidad de líneas elegidas en los distintos años del período seleccionado.

En la tabla 3.1 se muestra la cantidad de líneas tomadas dentro del período considerado. Se puede concluir que la ocurrencia de líneas de inestabilidad es más alta en los meses de diciembre y enero .Se nota un aumento progresivo de la ocurrencia hacia el comienzo del verano y un decrecimiento bastante marcado hacia el comienzo del otoño.

## 3.2 Situación sinóptica asociada con la ocurrencia de líneas de inestabilidad

Para el estudio de las condiciones sinópticas medias propicias para la formación de líneas de inestabilidad, se obtuvieron los campos medios de altura geopotencial de los niveles 1000 hPa, 500hPa y el espesor 500/1000 hPa de la muestra de líneas de inestabilidad.

Se tomaron para ello 2 días antes del evento y hasta 2 días después del mismo calculándose además las anomalías medias del promedio de los años 1982-1984 del período de los meses considerados.

### 3.2.1 Campos medios

En la Fig. 3.1 se observan los campos medios del total del período considerado de acuerdo con los re-análisis diarios de 12.00 UTC del ECMWF.

Puede observarse en el nivel de 1000 hPa un centro de alta presión espúrea sobre el Altiplano Peruano – Boliviano, que produce un desplazamiento hacia el este de la Depresión del Noroeste Argentino y correspondientemente una singularidad en el campo de espesor 500 / 1000 hPa.

Se estima que esta incongruencia se debe a los métodos empleados por el Centro Europeo para estimar alturas de superficies isobáricas de 1 a 4 Km por debajo de superficie.

*“Día 2 ”*

En la Figura 3.2 puede observarse la situación sinóptica media imperante *“dos días antes de la ocurrencia de la línea de inestabilidad ”*

Se observa en el mapa de 1000 hPa una débil Depresión del Noroeste Argentino .

En 500 hPa se insinúa una vaguada aproximadamente en 95° O acercándose a la zona central del territorio, en tanto que en el espesor 500/1000 hPa una lengua de aire cálido penetra desde el norte hacia la zona central .

*“Día -1 ”*

El campo de 1000 hPa del *“día anterior a la línea de inestabilidad ”* (Fig .3.3) muestra la Depresión del Noroeste Argentino más intensificada .

En 500 hPa se ha intensificado el gradiente en la zona central de Argentina y la vaguada en el Pacífico se ha hecho más evidente , mientras que en el espesor 500 /1000 hPa hay una intensificación de la lengua de aire cálido en el centro del país.

*“Día de línea de inestabilidad ”*

En el análisis de 1000 hPa del *“día de línea de inestabilidad ”* (Fig. 3.4 ) se observa que se ha desplazado hacia el este el Anticiclón del Atlántico , en tanto que ha continuado intensificándose la Depresión del Noroeste Argentino.

En la Patagonia se observa una perturbación ciclónica .

El eje de la vaguada en la tropósfera media se halla muy próximo a la Cordillera de los Andes.

La zona baroclínica en el espesor 500 /1000 hPa se ha intensificado y desplazado hacia el noreste . Aire cálido ocupa el centro de Argentina en tanto que aire frío penetra desde Chile.

*“Día -1 ”*

En el mapa de 1000 hPa del *“día posterior al de la línea de inestabilidad ”* que se muestra en figura 3.5 , ha penetrado el Anticiclón del Pacífico por detrás de la vaguada en superficie que se ha desplazado hacia el noreste, mientras que la Depresión del Noroeste Argentino se ha desplazado hacia el norte.

En 500 hPa el eje de la vaguada se ha desplazado hacia el este observándose en el área central del territorio.

El mapa de espesor 500 /1000 hPa , muestra ahora la zona de mayor baroclinicidad sobre las provincias de La Pampa y Buenos Aires, se ha extendido la advección fría hacia el centro-oeste del país , desplazando hacia el este la lengua de aire cálido.

*“Día -2 ”*

El análisis de 1000 hPa *“el día más dos después del evento ”* ( Fig. 3.6 ) el Anticiclón del Atlántico se ha desplazado hacia el este no afectando al continente . El eje de la vaguada continuó su desplazamiento hacia el noreste encontrándose en la proximidad de Porto Alegre.

En 500 hPa una cuña ha ocupado la zona central del territorio.

El espesor 500/1000 hPa muestra el debilitamiento de la zona baroclínica en el área de estudio mientras que la lengua de aire cálido se ha desplazado hacia el noreste del país.

### **3.2.2 Campo de anomalías medias**

#### *Anomalías de altura geopotencial*

Utilizando como referencia los campos medios de 1000 hPa, 500hPa, y el espesor 500/1000hPa se calcularon las anomalías correspondientes al período comprendido entre octubre y marzo de los años 1982-1984 .

*“Día -2 ”*

La Figura 3.7 muestra el campo de anomalías medias de 1000 hPa, 500 hPa y 500/1000 hPa correspondiente a *“dos días antes del evento ”*.

El nivel de 1000 hPa , un campo de anomalías positivas en la zona norte y central del país indicaría una Depresión del Noroeste Argentino débil , una zona de mayor gradiente se ubica al sur de 40° S

En el nivel de 500 hPa un fuerte gradiente de anomalía se encuentra al sur de los 40° S coincidente con la franja de mayor baroclinicidad observada en el espesor 500/1000 hPa , entre un centro positivo centrado en Río Negro y uno negativo en el sudeste del Pacífico.

*“ Día -1 ”*

El campo de anomalías en 1000 hPa del *“día anterior al evento ”* (Fig. 3.8) permite ver la profundización de la Depresión del Noroeste Argentino y el desplazamiento hacia el norte de la región de fuerte gradiente, que precede a una intensa anomalía negativa en la Patagonia .

En 500 hPa se desplazó hacia el este el centro de anomalías positivas intensificándose con el consecuente desplazamiento hacia el noreste de la franja de fuerte gradiente de anomalía que termina en un centro negativo en 50 ° S y 85 ° O.

En el espesor 500/1000 hPa , el centro de anomalías positivas se ha desplazado hacia el sudeste quedando un pequeño resto en 35° S y 72° O , la franja de fuerte gradiente se ha desplazado hacia el noreste dejando por detrás una intensa anomalía negativa.

*“Día de línea de inestabilidad ”*

En 1000 hPa el *“día del evento ”* (Fig . 3.9) muestra una notable profundización de la Depresión del Noroeste Argentino lo que produce una intensificación de viento de dirección norte en la región central, en tanto que en la patagonia se ha desplazado hacia el noreste el campo de fuerte gradiente dejando hacia atrás un centro de anomalía negativa que penetra en la provincia de Santa Cruz.

En 500 hPa el centro de anomalía positiva se ha desplazado hacia el sudeste en el Atlántico en tanto que se ha intensificado notablemente el gradiente de anomalía hacia el norte de la patagonia por la aproximación del centro negativo por el sud de Chile.

En el espesor 500/1000 hPa el centro de anomalía positiva se ubicó al noreste de las islas Malvinas, intensificándose ,mientras que la anomalía negativa se ha desplazado hacia el noreste ubicándose al oeste de Puerto Montt . Se observa una zona de fuerte gradiente entre las dos anomalías en el norte de la región patagónica

*“Día -1 ”*

*“Un día después del evento ”* en 1000 hPa puede observarse el llenado de la Depresión del Noroeste Argentino posiblemente debido a la proximidad de un frente frío en superficie (Fig. 3.10) .

Dos centros de anomalía negativa debilitados con respecto al día de la línea se ubican en el centro de Buenos Aires y en Chile central.

En 500 hPa el eje de anomalías negativas se ha desplazado hacia el este encontrándose en la zona central del país con un centro en el sur de la Patagonia, en tanto que la zona de mayor gradiente de anomalía se ubicó en el noreste de la provincia de Buenos Aires.

En el espesor 500/1000 hPa el centro de anomalía negativa se desplazó hacia el sudeste, ubicándose en el centro de la Patagonia precedida por la zona baroclínica que se ubica en la provincia de Buenos Aires.

*“Día -2 ”*

*“Dos días después del evento ”* en 1000 hPa ( Fig. 3.11), un centro de anomalía positiva en el centro-este del país denota una leve anticiclogénesis en la zona central, mientras que se ha intensificado nuevamente la Depresión del Noroeste Argentino.

En 500 hPa el eje de anomalía negativa se desplazó hacia el este con su centro debilitándose, mientras que en el espesor 500/1000 hPa el centro de anomalías negativas se ha desplazado hacia el noreste ubicándose en las provincias de La Pampa y Buenos Aires.

*Anomalías en la temperatura de superficie el “Día de línea de inestabilidad”*

Se agruparon para estudiar el campo de anomalías de temperaturas en superficie “el día de línea de inestabilidad”, el promedio de los “tres meses más cálidos, enero, febrero y diciembre” y el promedio de los “tres meses menos cálidos, marzo, octubre y noviembre” correspondiente a los años 1982, 1983 y 1984 de la muestra de 109 líneas de inestabilidad.

La Fig. 3.12 correspondiente al “campo de anomalías de enero, febrero y diciembre” muestra un centro de anomalías positivas que ocupa la zona serrana de Córdoba y noroeste de Buenos Aires extendiéndose hacia sudeste en el Océano Atlántico. Una zona de mayor gradiente térmico en el norte de la Patagonia precede a un centro de anomalía negativa.

El “campo de anomalías de los meses menos cálidos”, presenta un centro de anomalías positivas algo más intenso que en la figura anterior y más extendido hacia el sudeste de la provincia de Buenos Aires, una zona de mayor gradiente térmico que en los meses más cálidos, está ubicada en La Pampa y el sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

Las diferencias entre los campos de anomalías de los meses de verano más cálidos y menos cálidos son poco significativas.

*Anomalías de la temperatura potencial equivalente en 850 hPa el “Día de línea de inestabilidad”*

La figura 3.13 corresponde al promedio de anomalía de temperatura potencial equivalente en 850 hPa el día de línea de inestabilidad de los: “tres meses más cálidos: enero, febrero y diciembre”, los “tres meses menos cálidos: marzo, octubre y noviembre” y los “seis meses: enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre”.

En la figura correspondiente a las “anomalías de los tres meses más cálidos” valores positivos abarcan el territorio Argentino con excepción del sudoeste de la patagonia.

El centro de anomalía positiva que se extiende hacia el sudeste sobre el Océano Atlántico se halla en el sur de la provincia de Córdoba. Un fuerte gradiente se ubica en La Pampa y el sudoeste de la provincia de Buenos Aires., la configuración es muy similar al promedio general aunque aparentemente más débil.

La figura que corresponde a los “ *meses menos cálidos* ” considerados presenta una configuración similar al anterior.

Aquí llama la atención el intenso gradiente sobre el litoral llegando a un leve enfriamiento en el noreste de Corrientes y Misiones.

La configuración de los “*seis meses*” es similar a el de los tres meses menos cálidos, y algo más intenso que el de los tres meses más cálidos.

Se entiende que las diferencias entre los tres campos son leves y un estudio más profundo debería hacerse para obtener pautas sobre su nivel de significancia.

### 3.3 Índice K de días de línea de inestabilidad

Se estudiaron :

Los campos “*promedio del índice K de los días de línea de inestabilidad de los meses enero, febrero, marzo ,octubre, noviembre y diciembre*” ; de los “*tres meses más cálidos enero , febrero y diciembre* ” y de los “*tres menos cálidos, marzo, octubre y noviembre* ”( Fig. 3.14).

Asimismo se calcularon los campos de anomalías correspondientes que surgieron al comparar los campos medios con los campos de los días de la muestra de líneas de inestabilidad ( Fig. 3.15).

En la figura 3.14 se muestran los campos medios del índice de inestabilidad K tanto para los “*seis meses considerados*” , como también para los “*tres meses más cálidos* ” y los “*tres meses menos cálidos*”.

Los tres campos muestran pequeñas diferencias entre si.

Una angosta lengua de máximos valores abarca desde Salta hasta el sur de Mendoza, con valores algo más elevados en los tres meses más cálidos .

Se observa una entrada de valores estables desde el Océano Atlántico hacia el litoral argentino con un mayor gradiente en los meses menos cálidos

En la figura 3.15 se representan los campos promedio de anomalías del índice K el día de ocurrencia de línea de inestabilidad para los seis meses considerados , para los meses más cálidos y para los de las estaciones intermedias .

De la comparación entre los campos se puede concluir que un centro anómalo positivo ocupa la zona central del país , algo más intenso en los tres meses más cálidos . Se puede observar una zona de mayor gradiente en el sud del litoral y norte de Uruguay que es algo más intensa en los meses más cálidos , en tanto que en el norte de la Patagonia , se observa otra zona de marcado gradiente que en los meses menos cálidos aparece bastante debilitado.

Los campos son similares entre si y pueden ser comparados con los campos anómalos de la temperatura potencial equivalente en 850 hPa.

### 3.4 Variación del espesor en las 24 horas previas al día de ocurrencia de línea de inestabilidad

A partir de los campos de espesores de los días de línea de inestabilidad y el día previo a la aparición de la misma, se calcularon las variaciones de espesor (Fig. 3.16).

A tal fin se obtuvieron :

- el campo promedio de los *“seis meses considerados”*; enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre.
- el campo promedio de los *“tres meses más cálidos”* ; enero, febrero y diciembre.
- el campo promedio de los *“tres meses menos cálidos”*: marzo, octubre y noviembre.

*VARIACION EN 24 HORAS DEL ESPESOR DE : ENERO, FEBRERO, MARZO, OCTUBRE, NOVIEMBRE Y DICIEMBRE*

En la Fig. 3.16 puede observarse un campo positivo con centro al norte de la provincia de Santa Fe, que se prolonga hacia el norte del país y hacia el sudeste con otro máximo en el Océano Atlántico, indicando el aumento en los espesores el día de ocurrencia de línea de inestabilidad con respecto al día anterior.

Hacia el sudoeste, un fuerte gradiente indica la posible posición de un sistema frontal, en tanto que por detrás de ella un campo negativo con centro en 40° S y 70° O asociado a la entrada de aire frío.

*VARIACION DEL ESPESOR DE LOS MESES : ENERO, FEBRERO Y DICIEMBRE*

En la figura correspondiente se observa un centro positivo que ocupa el norte y este del país, con su máximo ubicado en el norte de las provincias de Córdoba y Corrientes.

Dicho campo se prolonga hacia el este de Uruguay con otro centro en 36°S y 46°O en el Océano Atlántico.

A partir del centro de la provincia de Buenos Aires y hasta el norte de la Patagonia un fuerte gradiente marca la aproximación de un centro negativo que corresponde a la entrada de aire frío. El centro de valores negativos se encuentra ahora ubicado en 44° S y 72° O, mostrando que el aire frío ha penetrado en la Patagonia.

*VARIACION DEL ESPESOR DE LOS MESES : MARZO, OCTUBRE Y NOVIEMBRE*

La figura correspondiente denota la existencia de un centro positivo en forma elongada que se extiende desde el noreste del país hacia el este - sudeste de la provincia de Buenos Aires. El centro se ubica hacia el oeste de la provincia de Formosa.

Hacia el oeste - sudoeste, un fuerte gradiente se extiende desde el sud de la provincia de Buenos Aires hasta un centro de máximo valor negativo ubicado en 37°S, 73°O, en forma más meridional que en los campos anteriormente vistos.

Es de destacar que la zona de mayor gradiente en la variación de espesor es la más intensa de los tres casos estudiados, con el centro de máxima variación en 37°S y 75°O.

Las diferencias entre los meses de verano y los meses de las estaciones intermedias aparentemente indican que para producir líneas de inestabilidad el sistema sinóptico debe ser más intenso en las estaciones intermedias que durante el verano. No obstante, para confirmar este aspecto es necesario un estudio más exhaustivo.

### 3.5 Conclusiones

De los campos medios correspondientes a las 109 días de ocurrencia de líneas de inestabilidad y sus respectivas anomalías con el promedio climatológico, se puede observar la entrada al país de una vaguada en la tropósfera superior el día de la línea de inestabilidad, que se encontraba en el Pacífico dos días antes.

El día previo a la línea de inestabilidad, la Depresión del Noroeste Argentino se profundiza con el consecuente aumento de flujo del norte en la zona central del país aportando aire cálido, húmedo e inestable, en tanto que en 500 hPa se intensifica el flujo del oeste en la región de estudio.

El día de ocurrencia de la línea de inestabilidad se produce una entrada de aire frío desde el sudoeste al área de estudio que va ocupando en los dos días sucesivos el sud y centro del país.

De la comparación entre los campos por meses, aparentemente, la ocurrencia de líneas de inestabilidad está asociada a perturbaciones sinópticas más intensas en las estaciones intermedias que en los meses de verano.

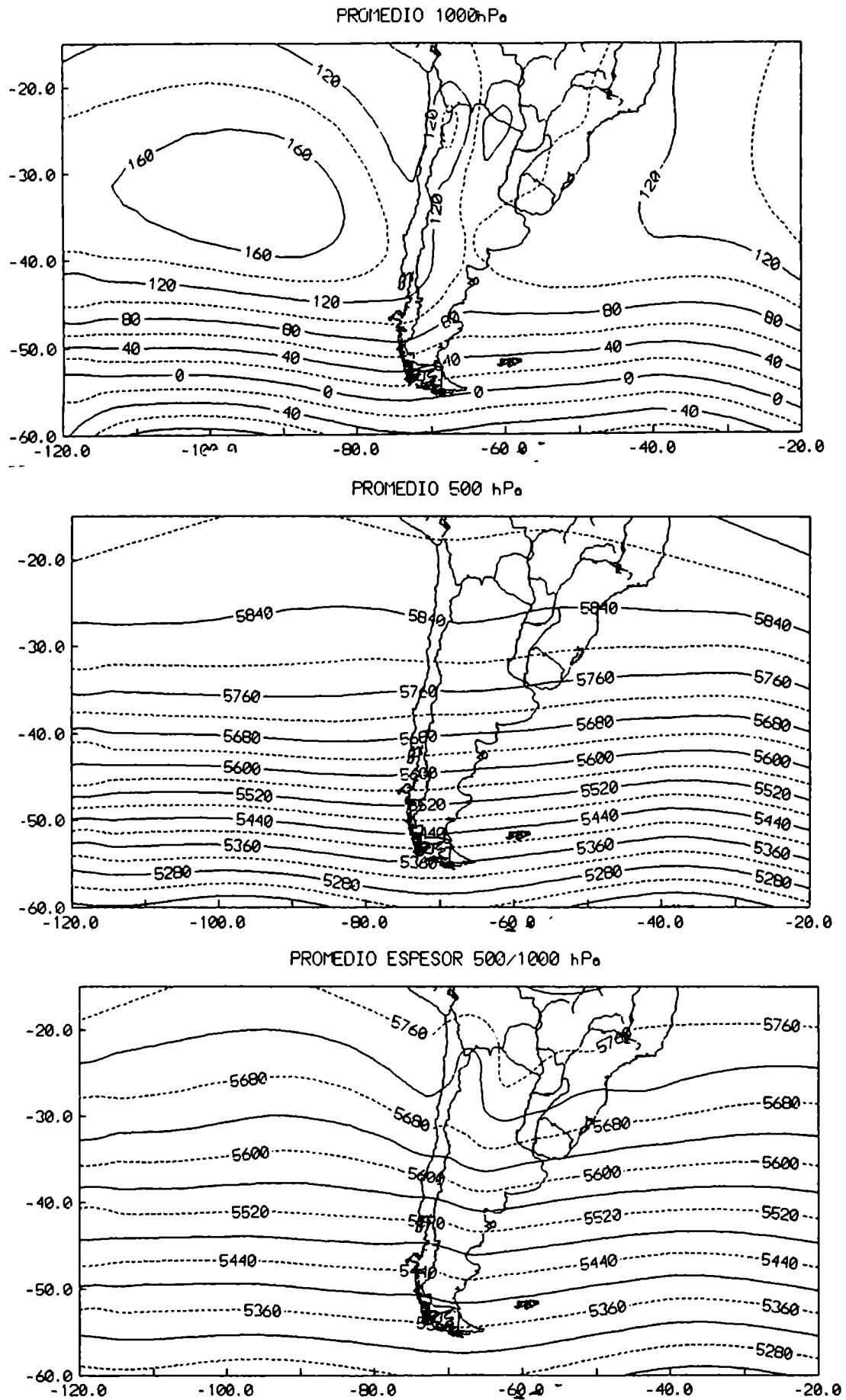


Figura 3.1 Campos medios de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba) 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) .

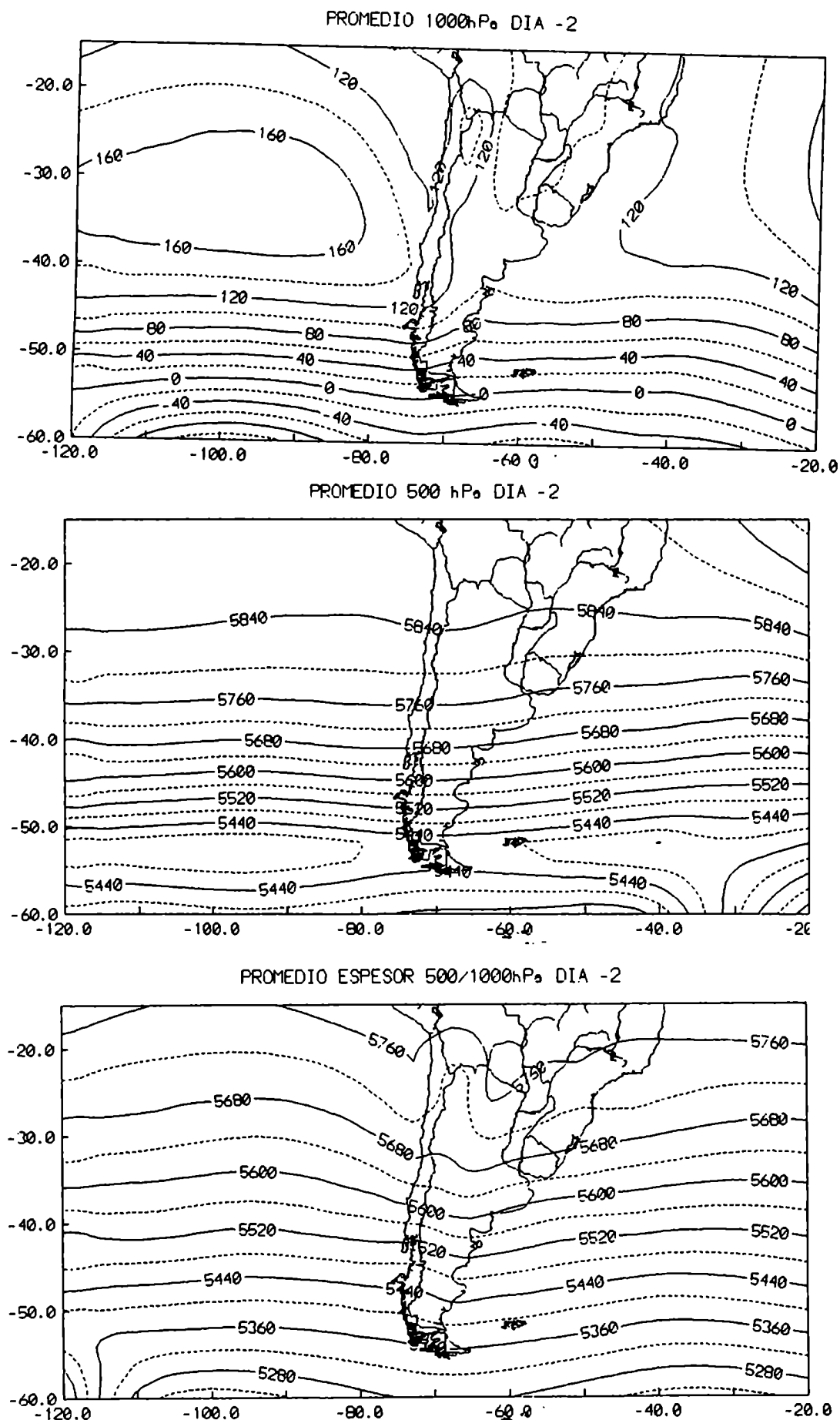
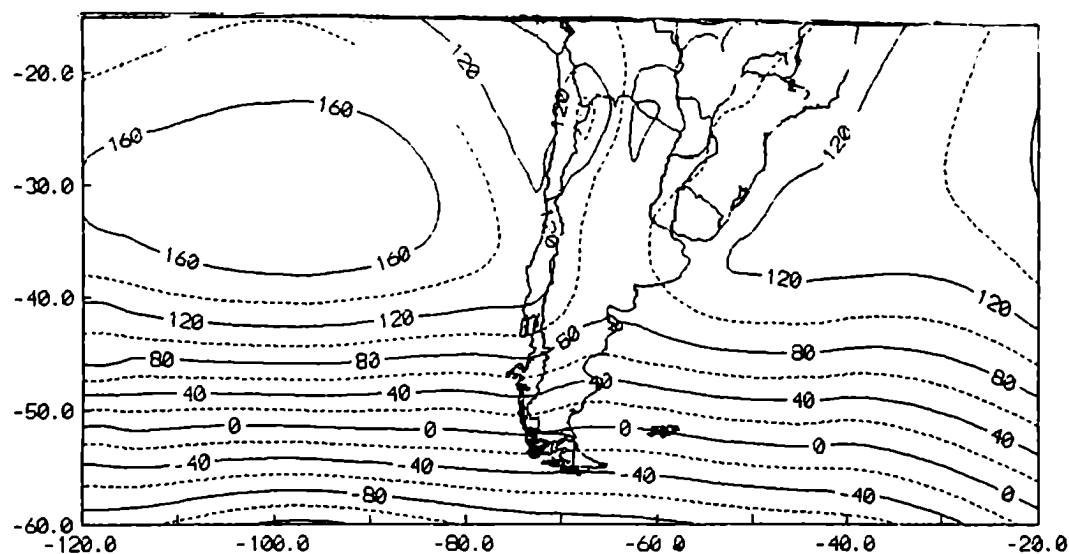
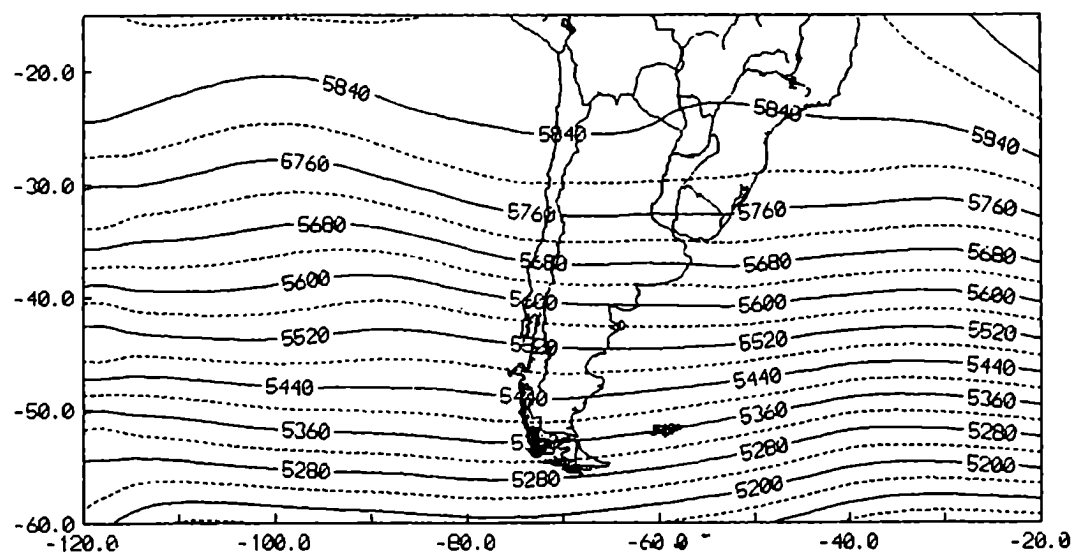


Figura 3.2 Campos medios de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba) 500hPa(centro), y 500/1000 hPa(abajo) correspondientes al día -2 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

## PROMEDIO 1000 hPa DIA -1



## PROMEDIO 500 hPa DIA -1



## PROMEDIO ESPESOR 500/1000 hPa DIA -1

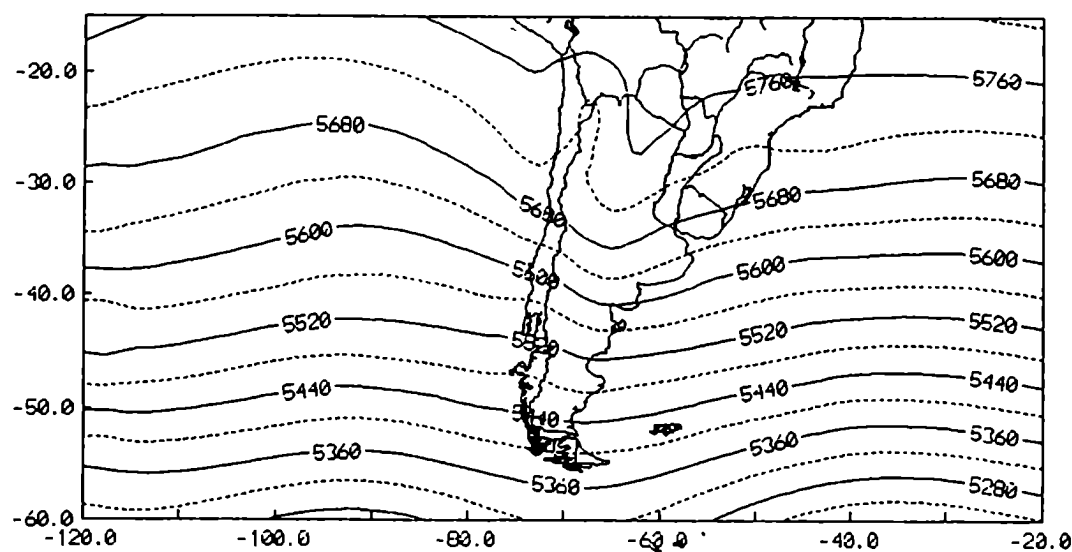


Figura 3.3 Campos medios de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba) 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día -1 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

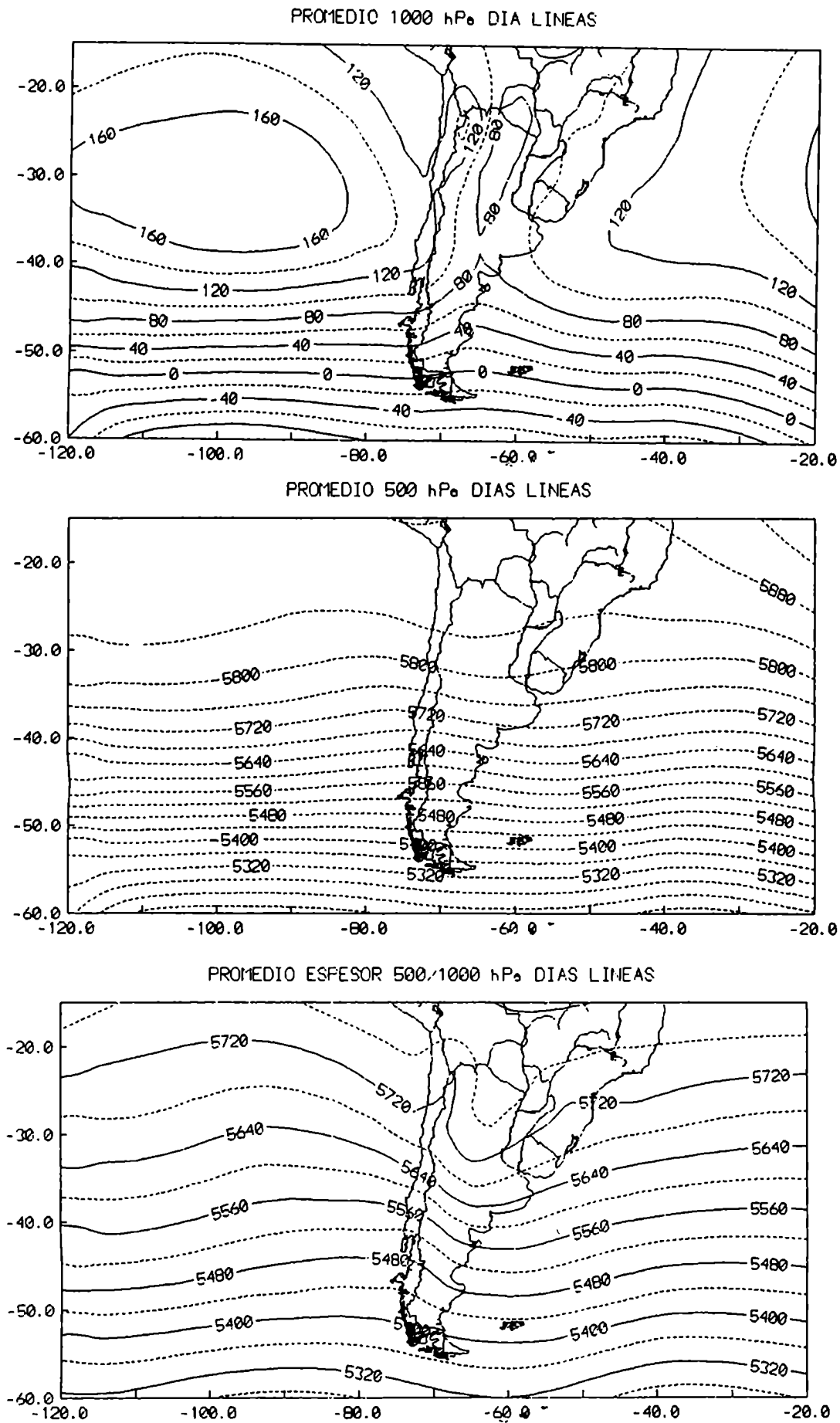


Figura 3.4 Campos medios de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba) 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

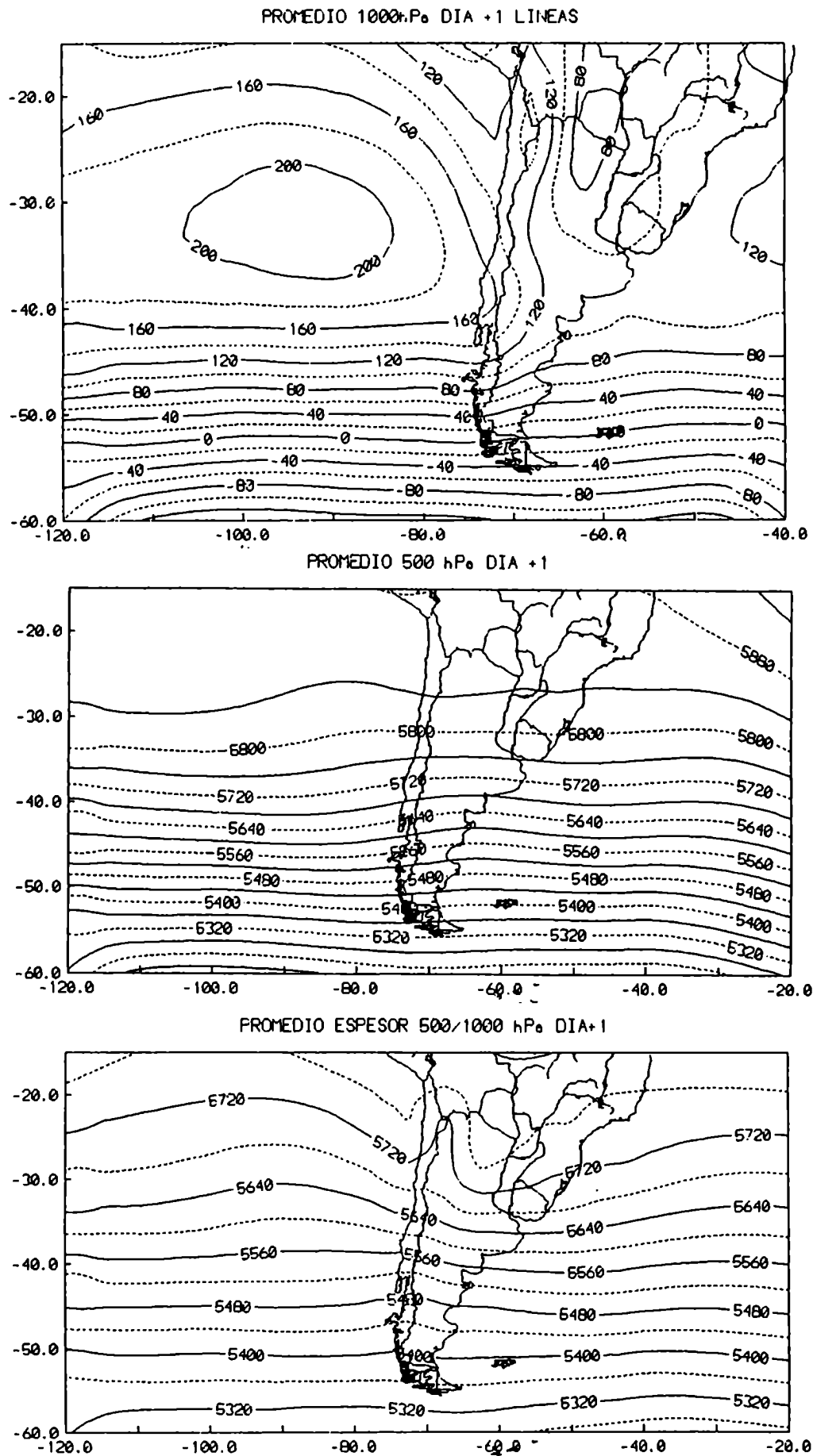


Figura 3.5 Campos medios de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba) 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día +1 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

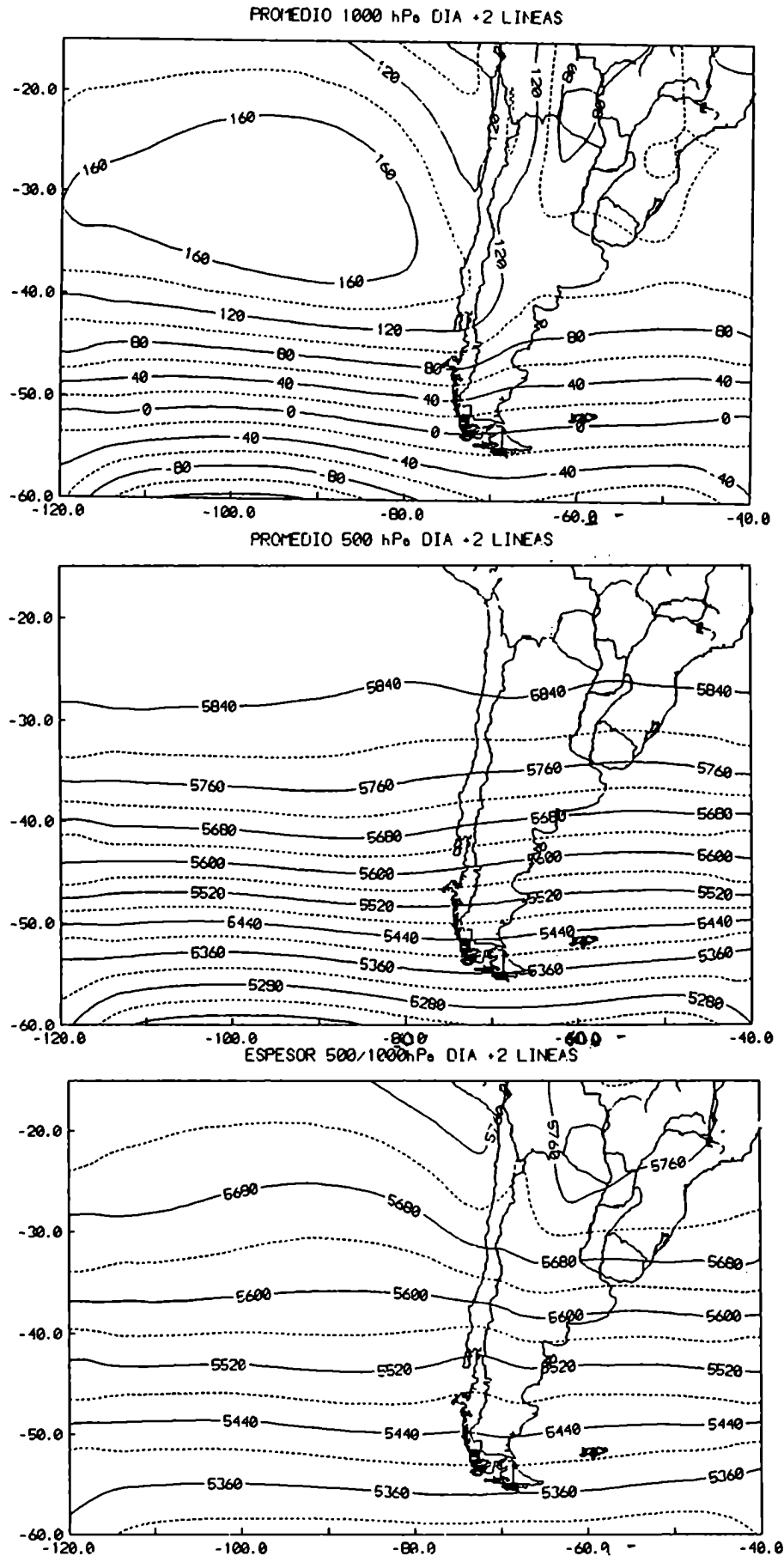


Figura 3.6 Campos medios de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba) 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día +2 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

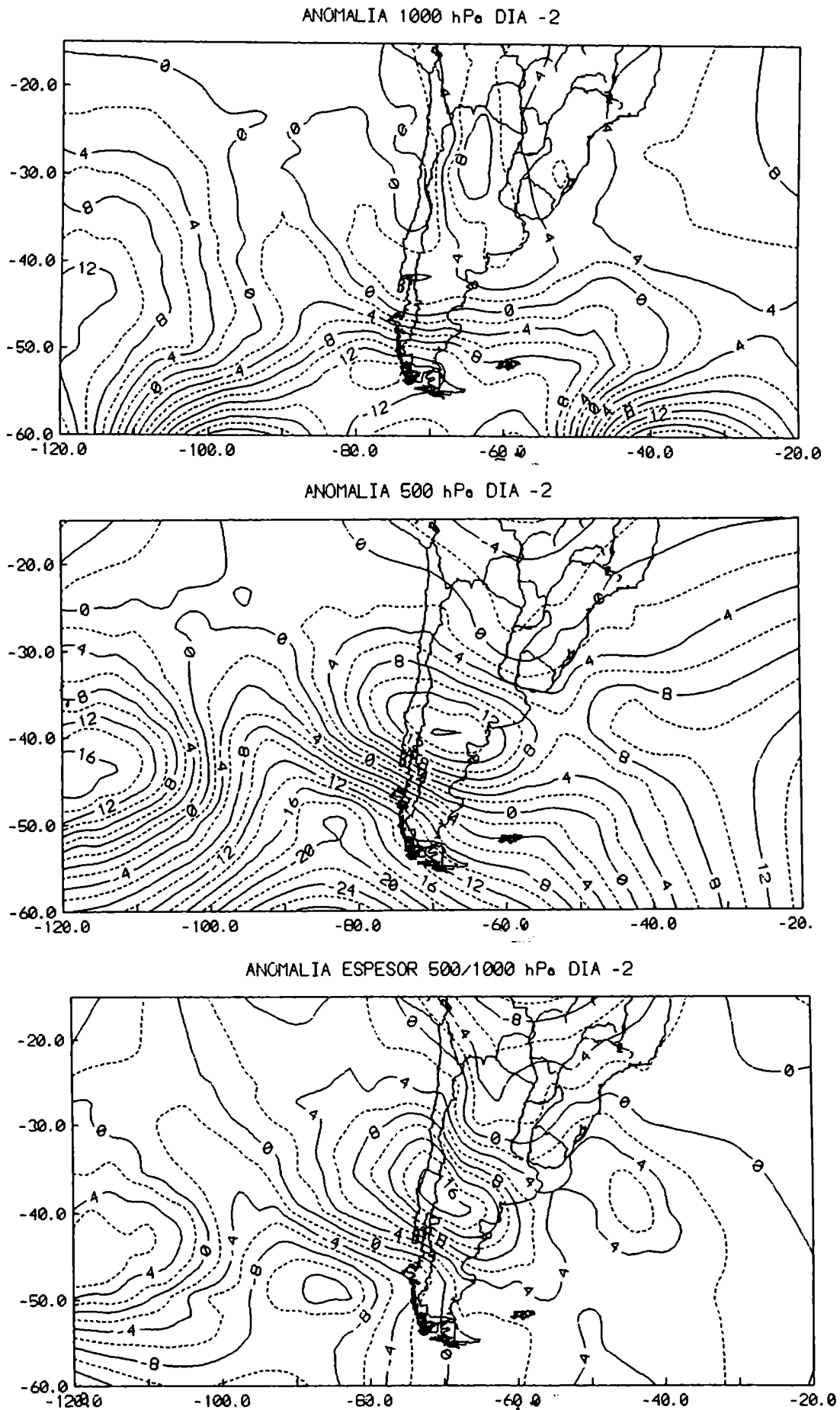


Figura 3.7 Campos de anomalías medias de altura geopotencial en los niveles 1000hPa (arriba), 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día -2 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

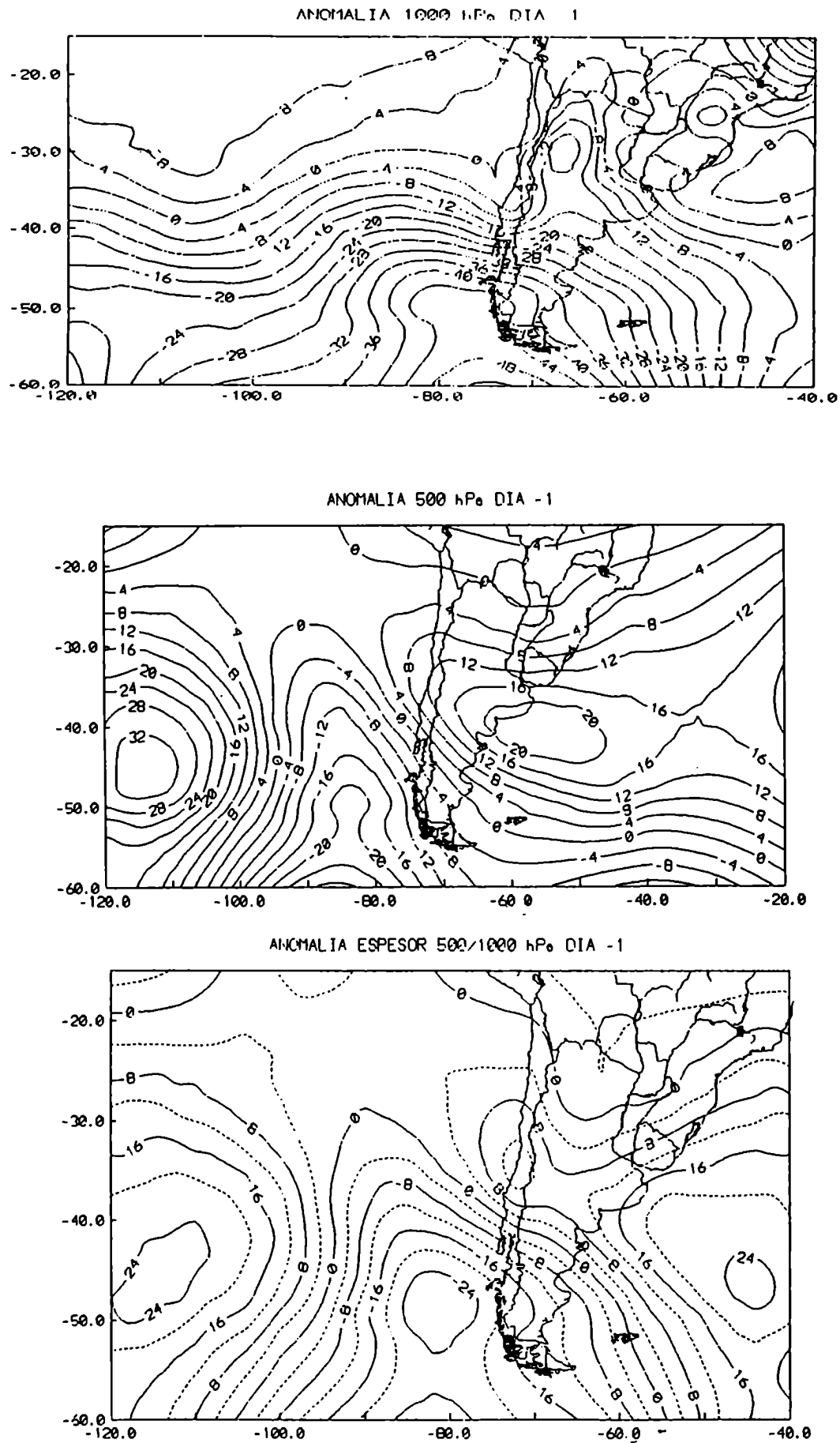


Figura 3.8 Campos de anomalías medias de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba), 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día -1 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

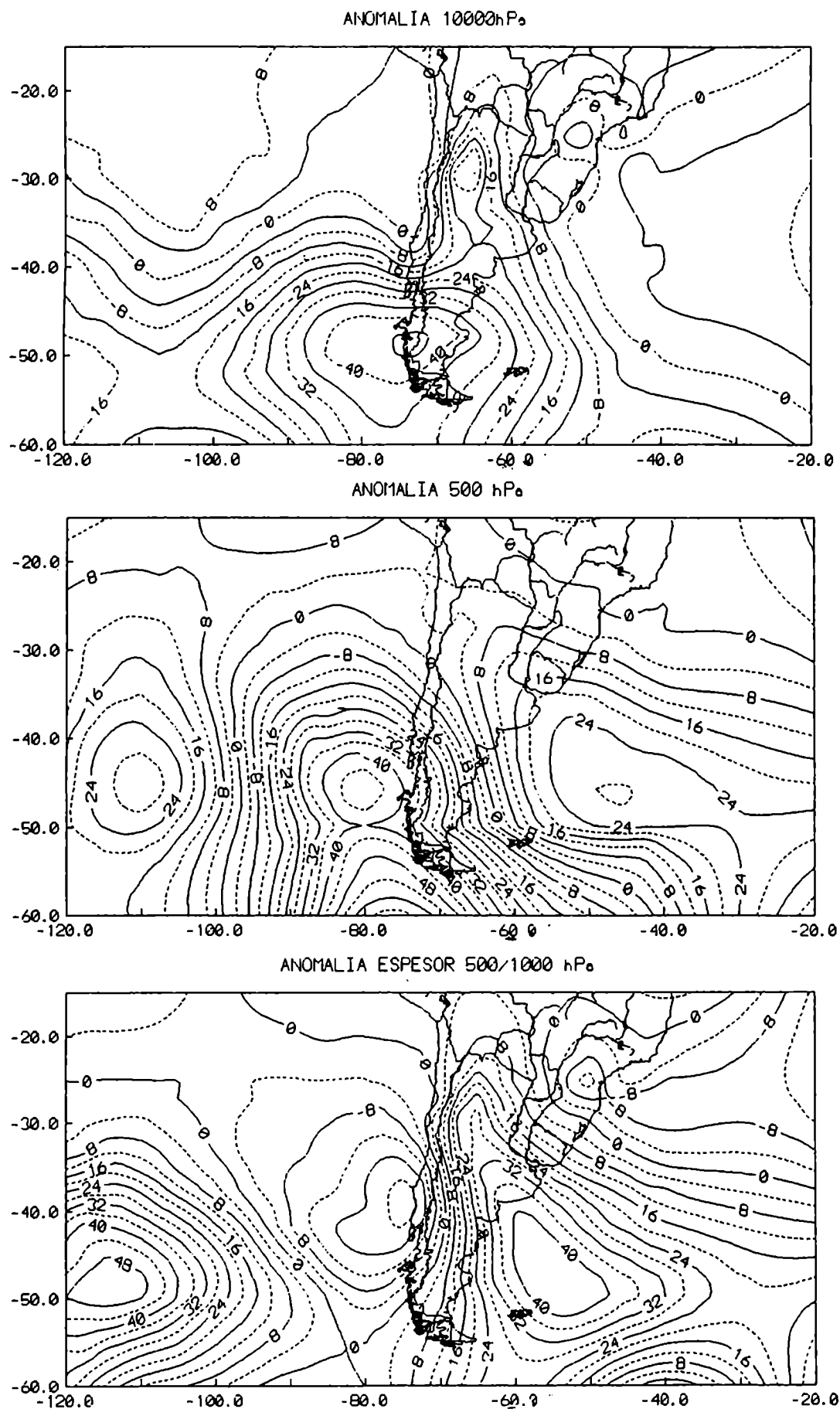


Figura 3.9 Campos de anomalías medias de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba), 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

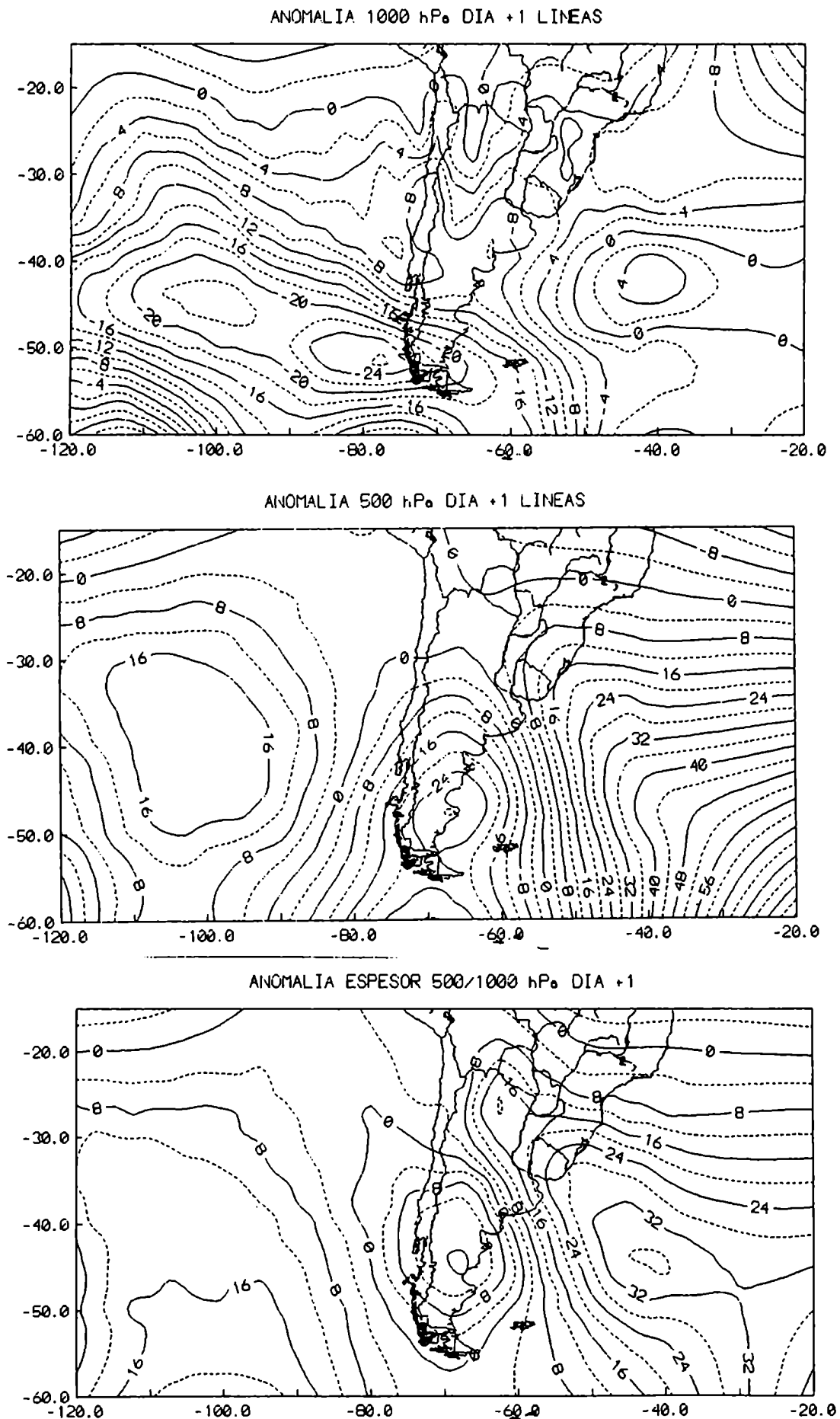


Figura 3.10 Campo de anomalías medias de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba), 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día +1 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

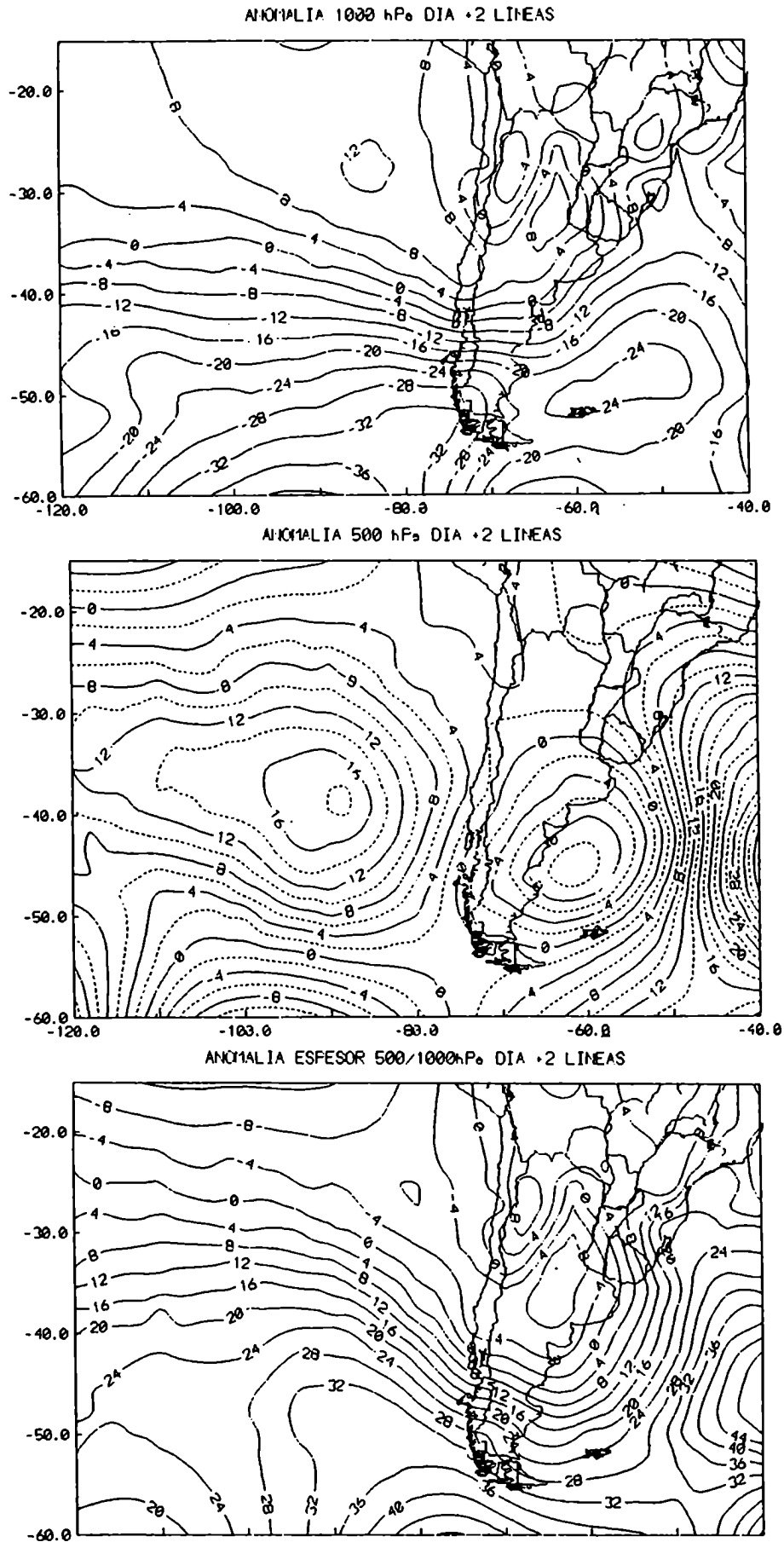


Figura 3.11 Campos de anomalías medias de altura geopotencial en los niveles 1000 hPa (arriba), 500 hPa (centro), y 500/1000 hPa (abajo) correspondientes al día +2 de ocurrencia de líneas de inestabilidad.

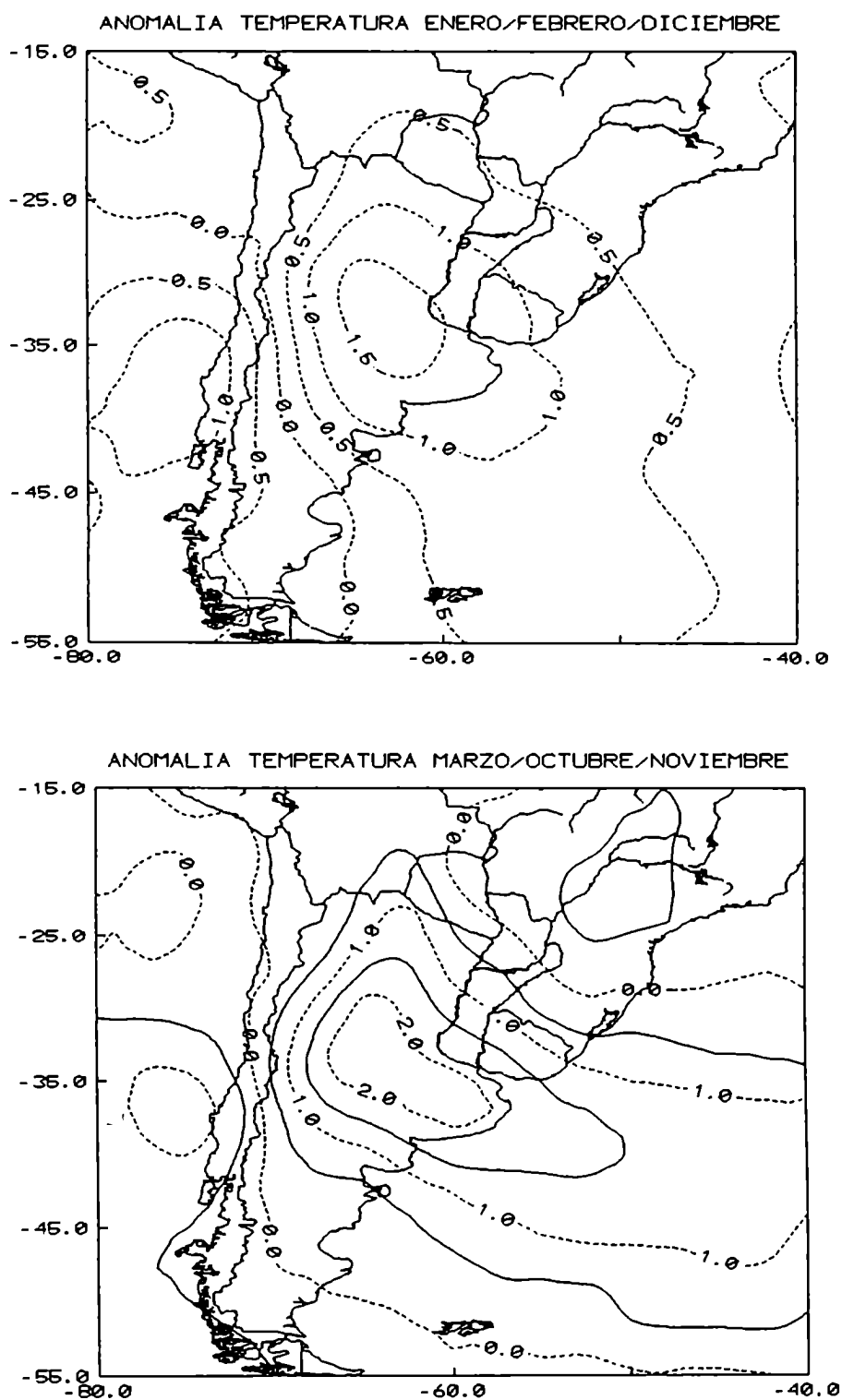


Figura 3.12 Campos de anomalías de temperatura de superficie el día de ocurrencia de líneas de inestabilidad correspondientes a los tres meses más cálidos(arriba), y a los tres meses menos cálidos (abajo) .

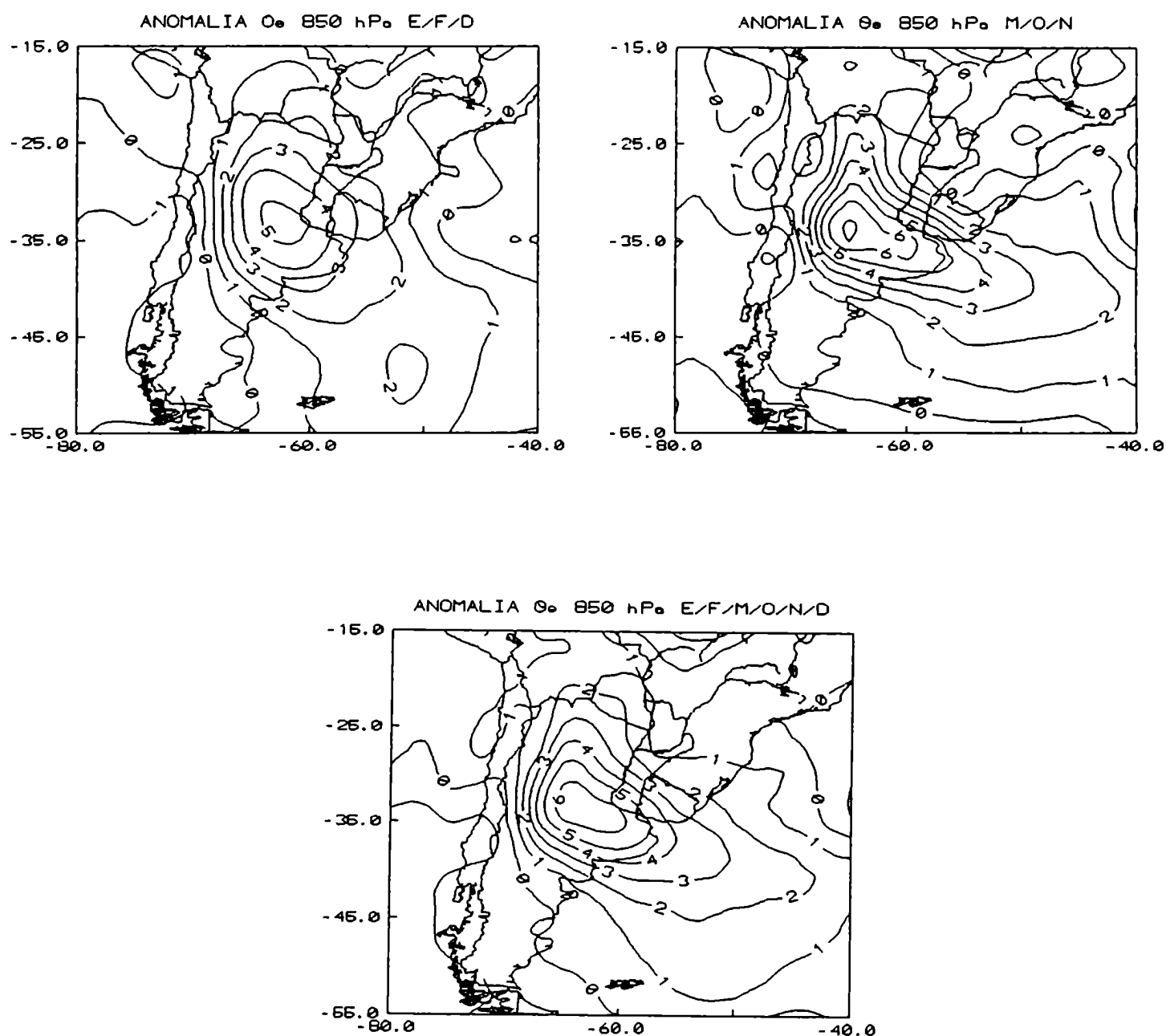


Figura 3.13 Campos de anomalías de temperatura potencial equivalente en 850 hPa el día de ocurrencia de líneas de inestabilidad correspondientes a los tres meses más cálidos (arriba; izquierda) ; a los tres meses menos cálidos (arriba;derecha) ; a los seis meses (abajo; centro).

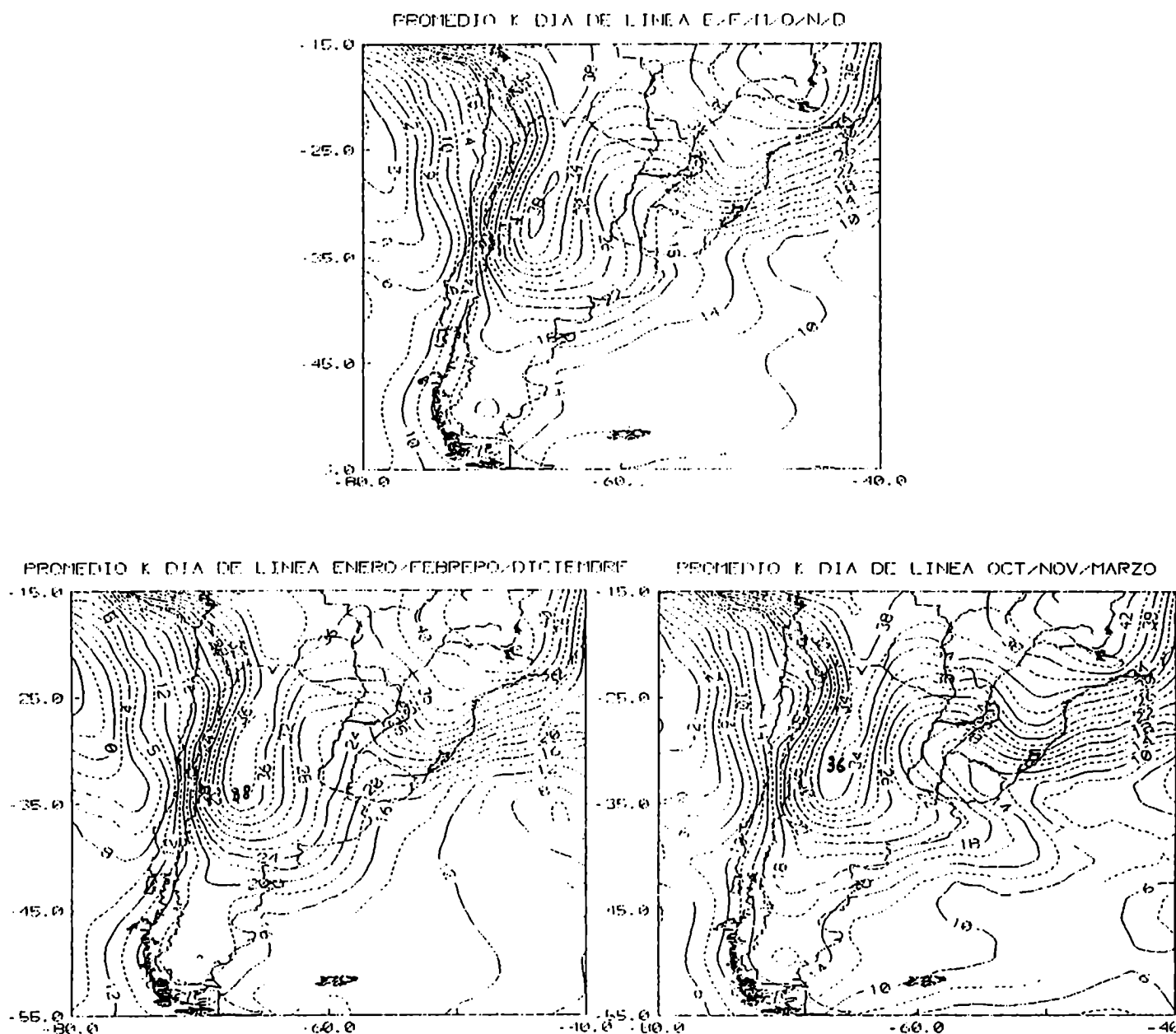


Figura 3.14 Campos promedio del índice de nestabilidad “K”el día de ocurrencia de líneas de inestabilidad de los seis meses considerados (arriba;centro); de los tres meses más cálidos (abajo;izquierda); de los tres meses menos cálidos (abajo;derecha).

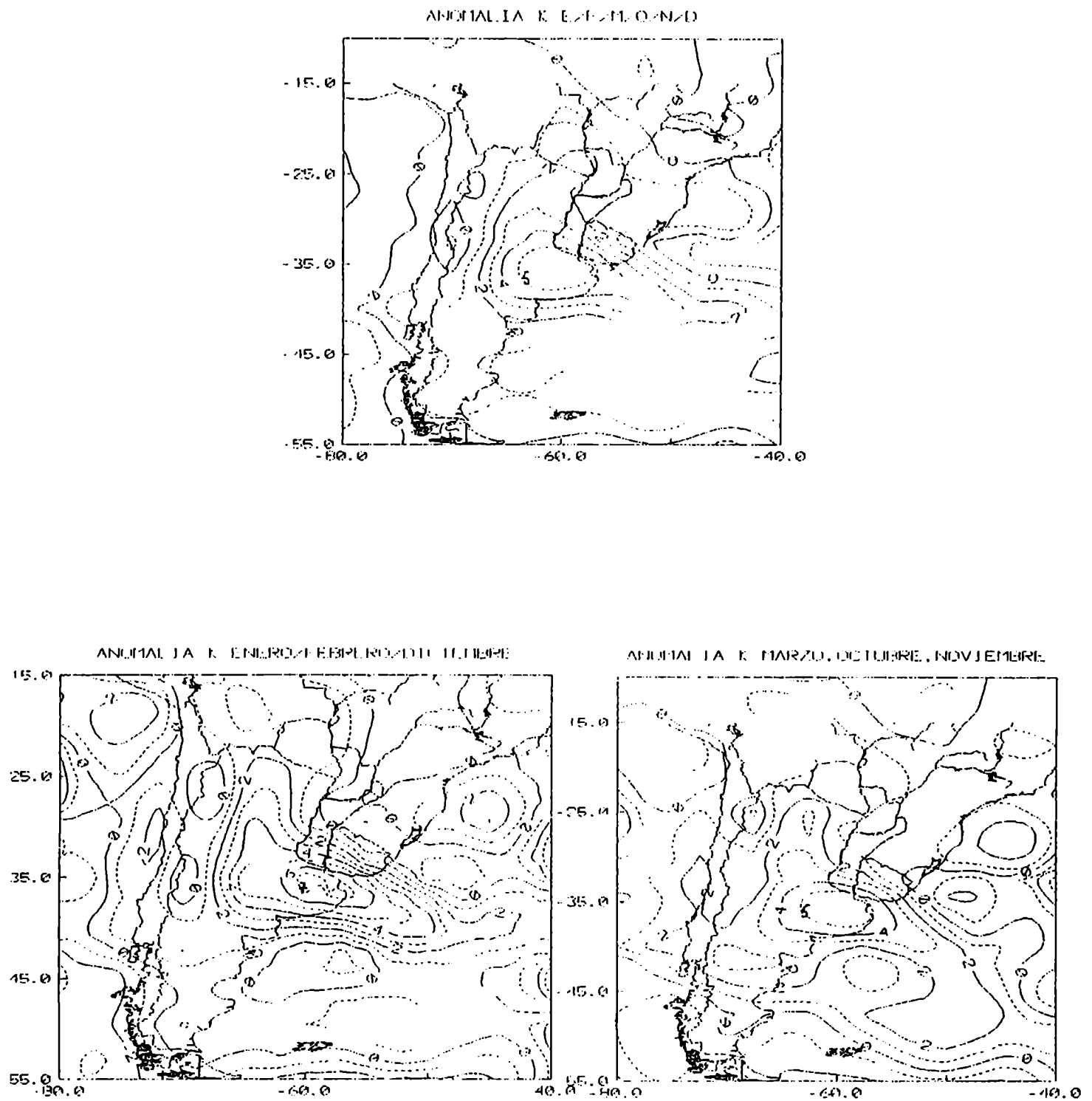


Figura 3.15 Campos de anomalías del índice de inestabilidad “K” el día de ocurrencia de líneas de inestabilidad de los seis meses (arriba;centro); de los meses más cálidos (abajo;izquierda); de los tres meses menos cálidos (abajo;derecha).

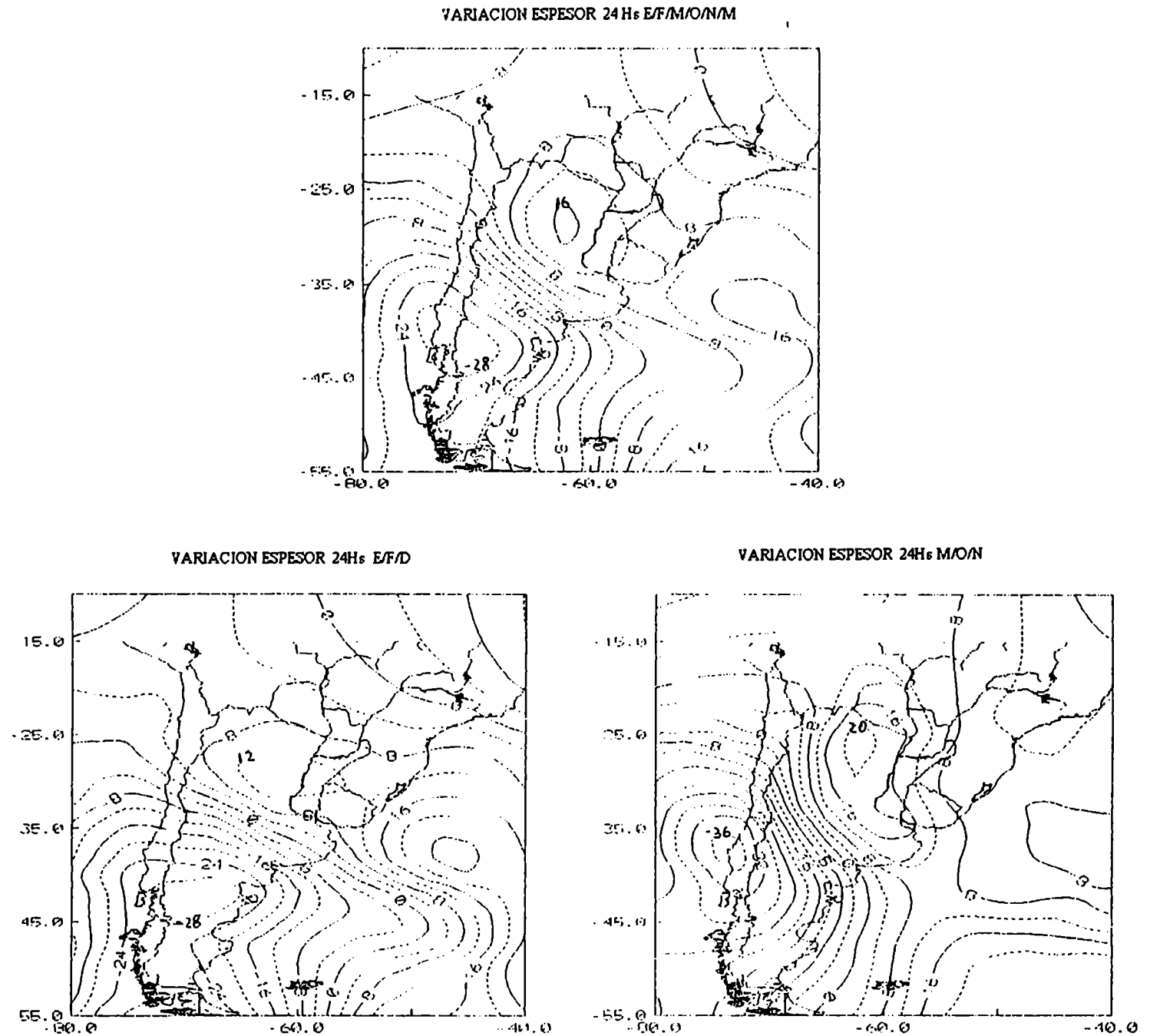


Figura 3.16 Campos promedio de la variación del espesor 500/1000 hPa 24 horas antes de la ocurrencia de líneas de inestabilidad de los seis meses considerados (arriba;centro); de los tres meses más cálidos (abajo;izquierda); de los tres meses menos cálidos (abajo;derecha).

## CAPITULO IV

### COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS PARÁMETROS ASOCIADOS A LA OCURRENCIA DE LÍNEAS DE INESTABILIDAD

*En este capítulo , se hace una selección de parámetros meteorológicos cuya asociación a la ocurrencia de las líneas de inestabilidad es significativa , a fin de encontrar los mejores predictores.*

#### 4.1 Información utilizada

Para el estudio de los parámetros sinópticos se tomaron los datos del análisis diario del Centro Meteorológico Europeo de las 12.00 UTC de los meses enero, febrero, marzo, octubre noviembre y diciembre entre los años 1982- 1984. Asimismo se tuvo en cuenta la muestra de días de líneas de inestabilidad, que totalizan 109 en el mismo período de tiempo.

#### 4.2 Tratamiento de la información

Se calculó para los distintos parámetros sinópticos, la frecuencia relativa media del período considerado que se denominó “ *frecuencia climatológica*” en la figura correspondiente, resultando de dividir los días de la muestra en cada intervalo por el total de los datos del Centro Meteorológico Europeo multiplicado por cien.

La “*frecuencia relativa* “ de días de línea de inestabilidad , que resulta de dividir los días de líneas de inestabilidad en cada intervalo considerado por el total de la muestra de días de líneas de inestabilidad multiplicado por cien .

La "*probabilidad de ocurrencia condicionada*", que resulta de dividir los días de líneas de inestabilidad por el total de días de la muestra dentro de cada intervalo considerado y multiplicado por 100.

Las columnas indicadas con un asterisco en los gráficos de probabilidad de ocurrencia son las que tienen muy pocos casos en la "*frecuencia climatológica*" y por lo tanto son de dudosa significancia.

### **Diferencia de altura geopotencial entre las localidades Monte Caseros y Villa María del Río Seco a nivel de 1000hPa.**

La "*frecuencia climatológica*" ( Fig . 4.1 ) correspondiente al total de datos que comprende los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre de 1982-1984.

Se puede observar que el 64% del total de la muestra de 546 días presentan una diferencia positiva en el intervalo comprendido entre 0 y 100 metros geopotenciales , lo que permite inferir la predominancia del viento de dirección norte .

En tanto la "*frecuencia relativa*" de los 109 días de línea de inestabilidad , evidencia que la mayor frecuencia de los casos , alrededor del 82 % presenta una diferencia positiva lo que denota la fuerte influencia de viento de dirección norte los días de línea de inestabilidad.

En la " *probabilidad de ocurrencia condicionada* " , se confirma la ocurrencia de líneas de inestabilidad preferentemente cuando el flujo es del norte entre las dos estaciones consideradas .

### **Diferencia de altura geopotencial entre las localidades de Porto Alegre (Brasil) y Villa María del Río Seco a 1000 hPa**

En la "*frecuencia climatológica*" (Fig. 4.2 ) la mayor frecuencia (63%) corresponde al intervalo de diferencias positivas de altura geopotencial lo que da un predominio de días con viento de dirección norte .

En la "frecuencia relativa" se puede observar que alrededor del 77% del total de días de líneas de inestabilidad considerados tienen diferencia positiva de altura geopotencial lo que confirma el predominio de viento de dirección norte.

La "probabilidad de ocurrencia condicionada", muestra que los mayores porcentajes de casos de probabilidad se encuentran en los intervalos de diferencia positiva de geopotencial, en particular en el de 50 a 100 metros geopotenciales se da el mayor porcentaje (34%), dando como resultado viento de dirección norte.

### **Diferencia de alturas entre Porto Alegre (Brasil) y Villa María del Río Seco en el nivel de 850 hPa**

La Fig. 4.3 muestra que la asociación con la componente meridional del flujo es similar a los casos tomados en 1000 hPa.

En la "frecuencia climatológica" el 62% de la muestra se encuentran en el intervalo de diferencias positivas entre 0 y 100 mmp, indicando así el predominio del viento de dirección norte.

La "frecuencia relativa", muestra que el 80% de días de línea de inestabilidad se encuentran en el intervalo de diferencias positivas de 0 a 100 mmp, confirmando el predominio de la dirección de viento norte durante el evento.

En la "probabilidad de ocurrencia condicionada" los mayores porcentajes de probabilidad se encuentran en los intervalos positivos de diferencia de 0 a 100 mmp, presentando el intervalo de 50 a 100 metros geopotenciales el mayor porcentaje (32%) confirmando el predominio del viento de dirección norte.

Los tres últimos parámetros estudiados se eligieron en base a las conclusiones extraídas en el Cap.II (corriente en chorro en capas bajas de dirección norte) y del Cap. III (campo de anomalías medias). Están íntimamente correlacionados, observándose que en cuanto a la probabilidad de ocurrencia condicionada de línea de inestabilidad, el más significativo es el que corresponde a la diferencia de alturas entre Monte Caseros y Villa María del Río Seco en 1000 hPa, estaciones ubicadas dentro del área de estudio considerada.

### **Diferencia de espesor 500/1000 hPa entre las localidades de Santa Rosa y Puerto Montt (Chile)**

Se puede observar en la "frecuencia climatológica" (Fig. 4.4 ) que el 73% de los días de la muestra se encuentra en el intervalo con diferencia positiva entre 0 y 150 metros geopotenciales .

En cuanto a la "frecuencia relativa" de la diferencia de espesor entre Santa Rosa y Puerto Montt (Chile) , el 78% de los casos de líneas de inestabilidad se encuentra con valores positivos de la diferencia de espesores. Esto indicaría, que una zona de mayor gradiente se encuentra entre ambas estaciones los días de línea de inestabilidad .

La "probabilidad de ocurrencia condicionada" muestra que los mayores porcentajes de probabilidad se encuentran dentro de intervalo positivo de diferencia de espesores , confirmando la existencia de una zona de mayor gradiente entre Santa Rosa y Puerto Montt los días de ocurrencia de línea de inestabilidad.

### **Diferencia de temperaturas entre Santa Rosa y Puerto Montt (Chile) en 1000 hPa**

En la "frecuencia climatológica " (Fig. 4.5 ) el 97% del conjunto de datos , se encuentra en el intervalo de diferencias positivas de temperatura entre las dos estaciones meteorológicas.

En la "frecuencia relativa" , el 94% de los casos de días de línea de inestabilidad se producen cuándo la diferencia de temperaturas es positiva .

En forma análoga, la " probabilidad de ocurrencia condicionada" indica que los mayores porcentajes de probabilidad se encuentran en la franja de diferencias positivas de temperaturas , especialmente en el intervalo comprendido entre 5 °C y 10 °C (95%). Estos resultados no hacen mas que confirmar los obtenidos con el parámetro anterior en cuanto a la existencia de una zona de mayor gradiente térmico entre las dos estaciones , los días de ocurrencia de línea de inestabilidad.

### **Diferencia de espesor en Puerto Montt ( Chile) entre " Día de Línea - Día (-1) Línea"**

En la " frecuencia climatológica " ( Fig. 4.6 ) , se puede observar que la mayor frecuencia alrededor del 35 % , se encuentra en el intervalo de diferencia positiva entre 50 y 100 metros geopotenciales .

La " frecuencia relativa " muestra que el 88 % de días de línea de inestabilidad se producen con diferencias positivas de espesor , y la mayor frecuencia se encuentra en el intervalo entre 50 y 100 metros geopotenciales.

En tanto la probabilidad de ocurrencia condicionada " correspondiente a la relación entre la diferencia de espesor en la localidad chilena de Puerto Montt el día de la línea de inestabilidad menos el día anterior a la misma, el mayor porcentaje de probabilidad (32%) se encuentra en el intervalo entre -100 y -50 mgp , indicando la disminución del espesor en dicha localidad por la entrada de aire frío durante las 24 horas previas a la formación de una línea de inestabilidad . Esto indicaría el posible ingreso de un frente frío al sudoeste del área de estudio dentro de las 24 horas previas a la formación de una línea de inestabilidad .

### **Comportamiento de Índices de Inestabilidad**

#### **Índice K en Córdoba**

En la "frecuencia climatológica" ( Fig. 4.7 ) del comportamiento del índice K en Córdoba , la mayor frecuencia (73%) de los días de la muestra presentan valores de índice K superiores a 20 .

En la "frecuencia relativa" , la mayor frecuencia de casos de líneas de inestabilidad alrededor del 45 % , se producen con un índice K en Córdoba superior a 30 mientras que un 41% se produce con valores entre 20 y 30 .

Por último la " probabilidad de ocurrencia condicionada" muestra que la mayor probabilidad se produce con índice de inestabilidad K mayor a 30 (24%).

### **Índice K en Ezeiza**

La "frecuencia climatológica" correspondiente al índice K de la muestra total considerada, indica que la mayor frecuencia , alrededor del 32% del total de la muestra se da en los intervalos con valores de índice K comprendidos entre 20 y 30 , y un 18% con valores mayores a 30 (Fig . 4.8 ).

En la " frecuencia relativa" la mayor cantidad de eventos se produce con valores de índice K entre 20 y 30 ( 37%) , seguido en importancia con valores de índice K superiores a 30 ( 26%).

En la " probabilidad de ocurrencia condicionada" ,la mayor probabilidad de ocurrencia de líneas de inestabilidad , 27% se da con valores de índice K superiores a 30 , seguida en importancia por el 24% con índice K entre 20 y 30 .

La probabilidad de ocurrencia con índice K mayor a 30 es mayor que en Córdoba.

### **Índice K en Resistencia**

La "frecuencia climatológica" correspondiente al índice K de Resistencia muestra que la mayor frecuencia de la muestra total considerada (55%) presenta un índice K superior a 30 (Fig . 4.9 ).

En la "frecuencia relativa" , la mayor frecuencia de días de línea de inestabilidad (39%) se da con valores de índice K superior a 30.

La " probabilidad de ocurrencia condicionada " confirma que la mayor probabilidad de ocurrencia de líneas de inestabilidad se produce con un valor de índice K entre 20 y 30 ( 30%).

En Resistencia aparentemente hay mayor probabilidad de ocurrencia de líneas de inestabilidad con valores menores de índice K a los observados en Córdoba y Ezeiza

### **Índice K en Santa Rosa**

La "frecuencia climatológica" del índice K en Santa Rosa permite observar, que la mayor frecuencia de días de la muestra se encuentra en los intervalos con valores de índice K superiores a 30 (35%), seguido en importancia por valores de índice K entre 20 y 30 (32%) (Fig. 4.10 ).

En cuanto a la "frecuencia relativa" , la mayor frecuencia de días de línea de inestabilidad (49%) se producen con valores de K que superan el valor de 30 .

La " probabilidad de ocurrencia condicionada" , indica que la mayor probabilidad (28%), se encuentra en el intervalo de valor índice K superior a 30.

Comparando estas cuatro estaciones de radiosondeo , resulta Santa Rosa la que muestra la mayor probabilidad de ocurrencia de líneas con índice K superior a 30 seguida en importancia por Ezeiza y Córdoba.

### **Índice "Total-Totals" en Ezeiza**

La "frecuencia climatológica" del índice "TT" de Ezeiza (Fig. 4.11 ) muestra que el mayor porcentaje de días del total de la muestra (27%) tiene un valor de índice entre 45 y 50.

En la "frecuencia relativa" la mayor frecuencia de días de línea de inestabilidad (26% ) se presentan cuándo el valor del índice se encuentra entre 45 y 50.

La relación entre los días de ocurrencia de líneas de inestabilidad y la muestra total denota que la " probabilidad de ocurrencia condicionada" da mayores porcentajes de probabilidad hacia los valores mayores del índice.

### **Índice "Total –Totals " en Resistencia**

En la "frecuencia climatológica" se puede observar que la mayor frecuencia de la muestra (28%) , se encuentra en el intervalo correspondiente a los valores de " TT " entre 40 y 45 (Fig. 4.12 ).

La "frecuencia relativa " denota que la mayor frecuencia de días de línea de inestabilidad (31%) se produce cuándo el índice alcanza valores entre 40 y 45.

En cuánto a la " probabilidad de ocurrencia condicionada ", el mayor porcentaje de probabilidad (24%) corresponde a valores de índice entre 50 y 55.

Se puede observar que la mayor probabilidad de ocurrencia de línea de inestabilidad en Resistencia se producen con índice "TT" menor al de Ezeiza.

### **Índice "Total – Totals" en Córdoba**

La "frecuencia climatológica " (Fig. 4.13 ) muestra que la mayor frecuencia de días se encuentra en el intervalo de índice comprendido entre 45 y 50 (30%).

En cuánto a la "frecuencia relativa ", la mayor frecuencia de días de líneas de inestabilidad se producen en el intervalo con valor del índice "TT" comprendido entre 45 y 50 (29%) .

La "probabilidad de ocurrencia condicionada " muestra que el mayor porcentaje de probabilidad ( 37%) , se encuentra en el intervalo de 50 a 55 de valor del índice.

El porcentaje mayor de probabilidad es algo mayor al de Ezeiza en el mismo intervalo de valores de índice "TT".

### **Índice "Total – Totals" en Santa Rosa**

En la muestra total de casos , correspondiente a la "frecuencia climatológica", la mayor frecuencia de días de la muestra ( 25%) se encuentran con valores de índice entre 45 y 50 (Fig . 4.14 ).

La "frecuencia relativa" que corresponde a los días de líneas de inestabilidad muestra que la mayor frecuencia de días de línea de inestabilidad (31%) ,se da en los días dónde el índice " TT " alcanza valores entre 45 y 50.

El mayor porcentaje de probabilidad se da con valores de índice superiores a 45 en la "probabilidad de ocurrencia condicionada". Comparando las cuatro estaciones meteorológicas consideradas se puede concluir que en Ezeiza como en Santa Rosa la mayor probabilidad de ocurrencia de línea de inestabilidad se produce con valores del índice superior a 55, en tanto que en Córdoba y Resistencia se da con valores entre 50 a 55

### 4.3 Conclusiones

De los tres parámetros que marcan la diferencia de altura geopotencial a 1000 y 850 hPa la diferencia de alturas entre Monte Caseros y Villa María del Río Seco en 1000 hPa es la que presenta el mayor porcentaje de probabilidad de ocurrencia en el intervalo entre 50 y 100 metros geopotenciales, indicando el predominio de viento de dirección norte los días de ocurrencia de línea de inestabilidad.

Las diferencias de temperatura y espesor 500 /1000 hPa entre Santa Rosa y Puerto Montt indican la mayor probabilidad de ocurrencia en los intervalos positivos lo que denota la existencia de una zona de mayor gradiente al sudoeste del área de estudio los días de ocurrencia de línea de inestabilidad. Los índices de inestabilidad “K” y “TT” muestran una alta probabilidad de ocurrencia de líneas de inestabilidad con valores mayores a 30 y 50 respectivamente.

Los resultados obtenidos permiten inferir que la mayor probabilidad de ocurrencia de líneas de inestabilidad está asociada a el aumento de viento de dirección norte en los niveles inferiores de la atmósfera, que aportan aire más cálido en la región central del país, a la inestabilidad de la masa de aire y a la entrada por el sudoeste al área de estudio considerada de una zona de mayor gradiente térmico.

Resulta así que la probabilidad de ocurrencia condicionada es de notable importancia en la estimación de ocurrencia de una línea de inestabilidad.

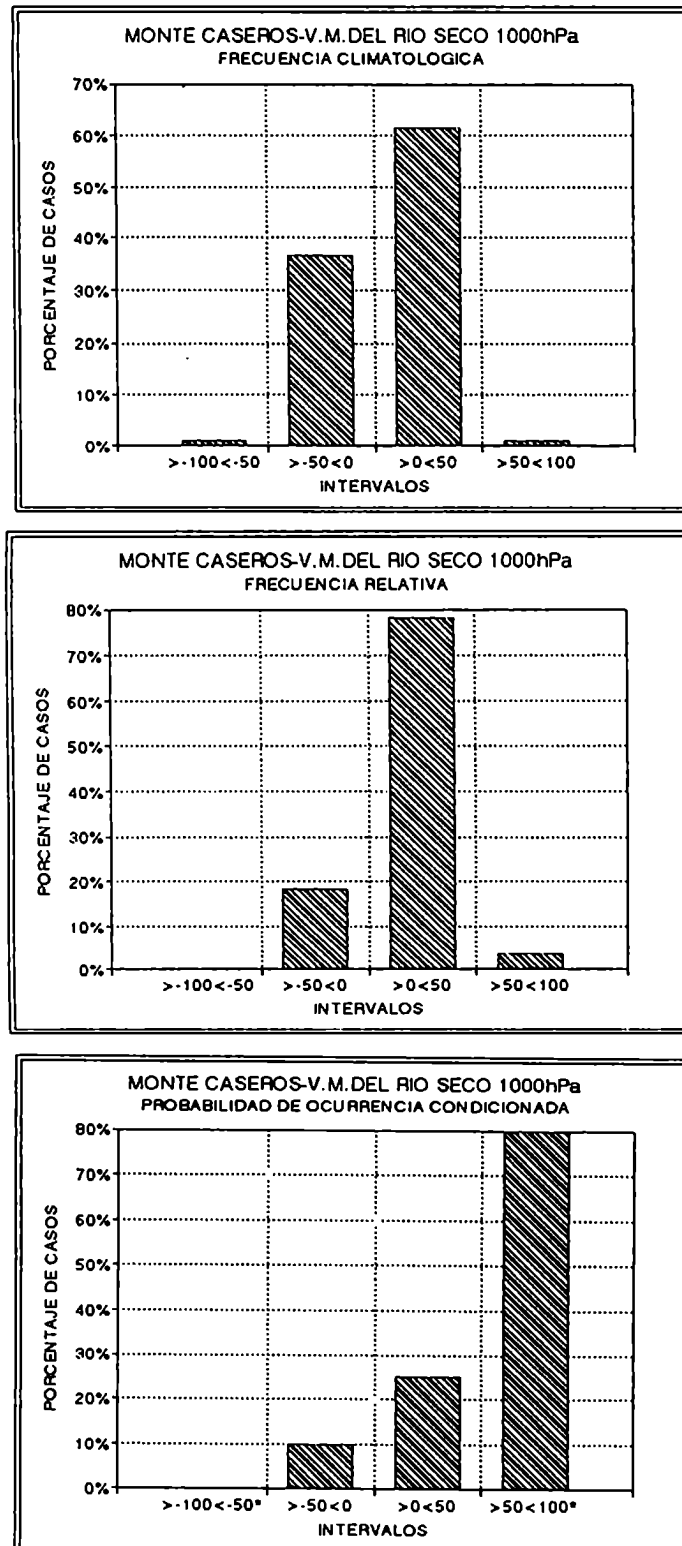


Fig.4.1: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) de la "Diferencia de altura geopotencial entre Monte Caseros y Villa María del Río Seco" en 1000 hPa.

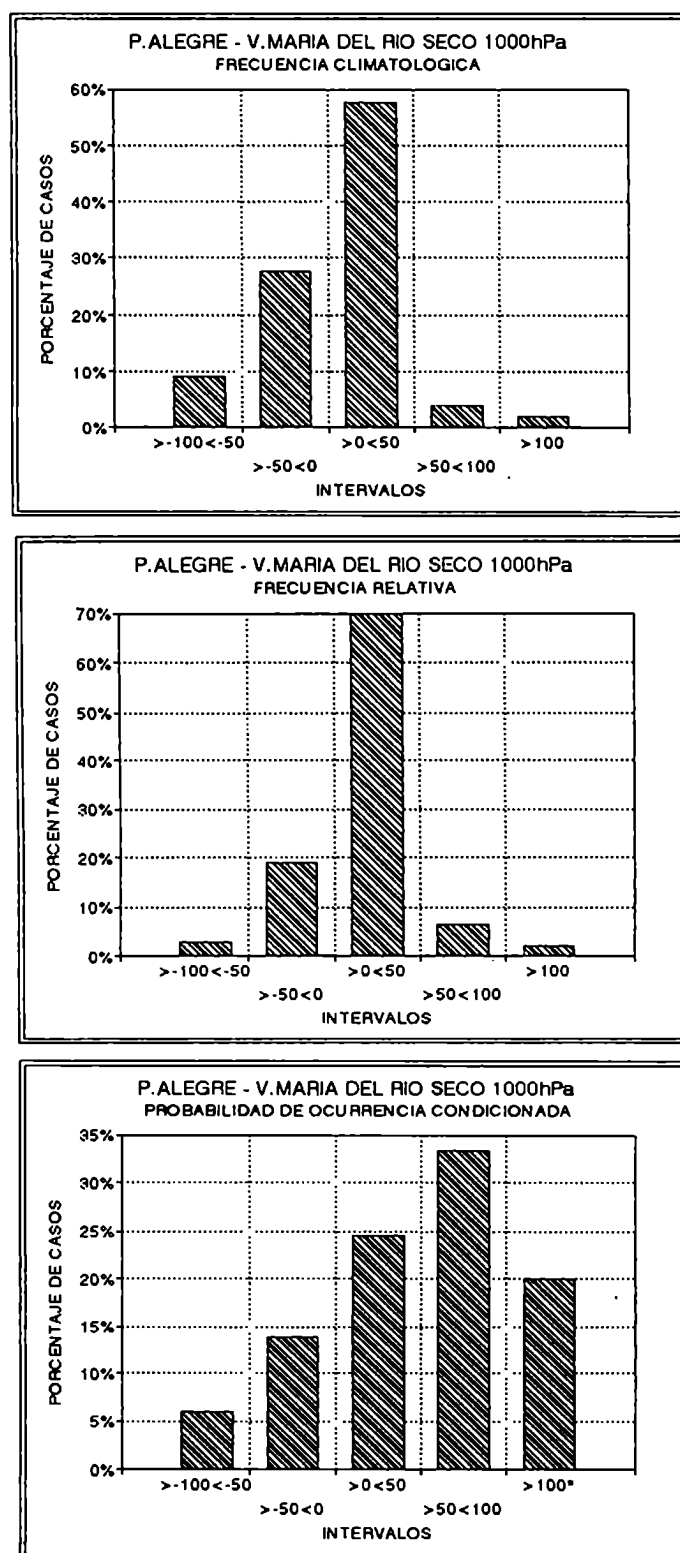


Fig. 4.2: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) de la "Diferencia de altura geopotencial entre Porto Alegre (Brasil) y Villa María del Río Seco en 1000 hPa.

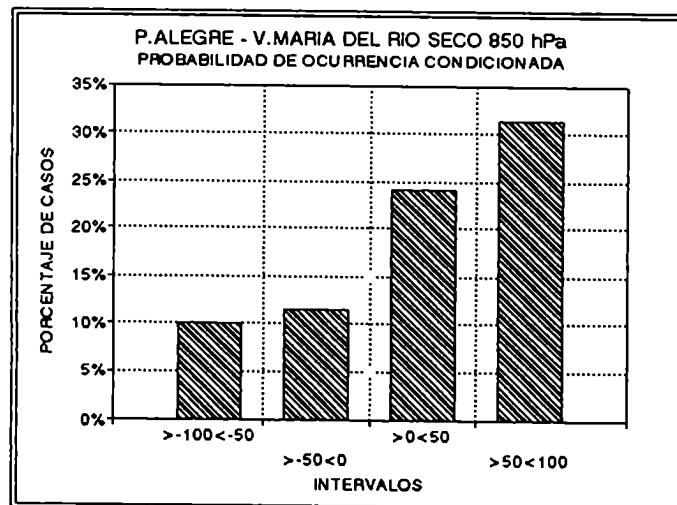
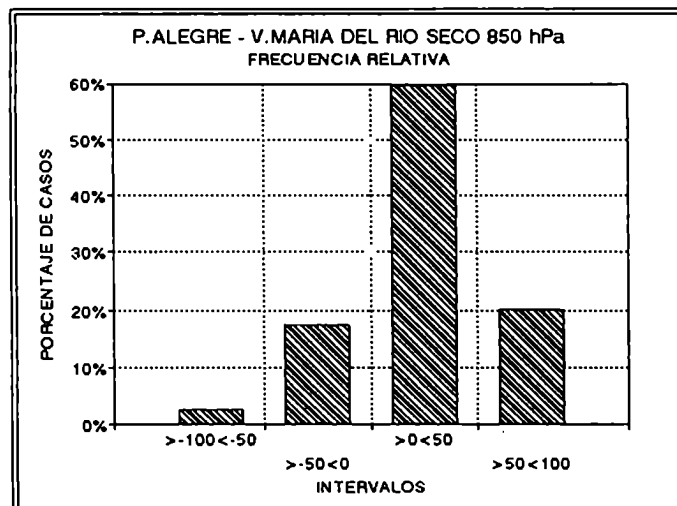
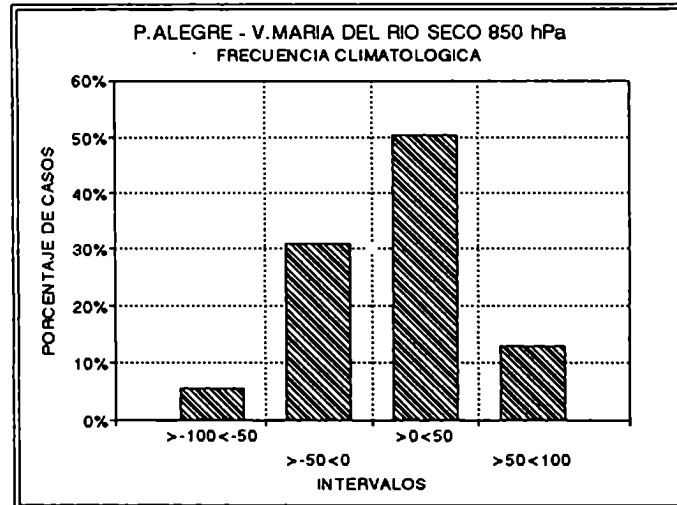


Fig. 4.3: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) de la "Diferencia de altura geopotencial entre Porto Alegre (Brasil) y Villa Maria del Rio Seco en 850 hPa".

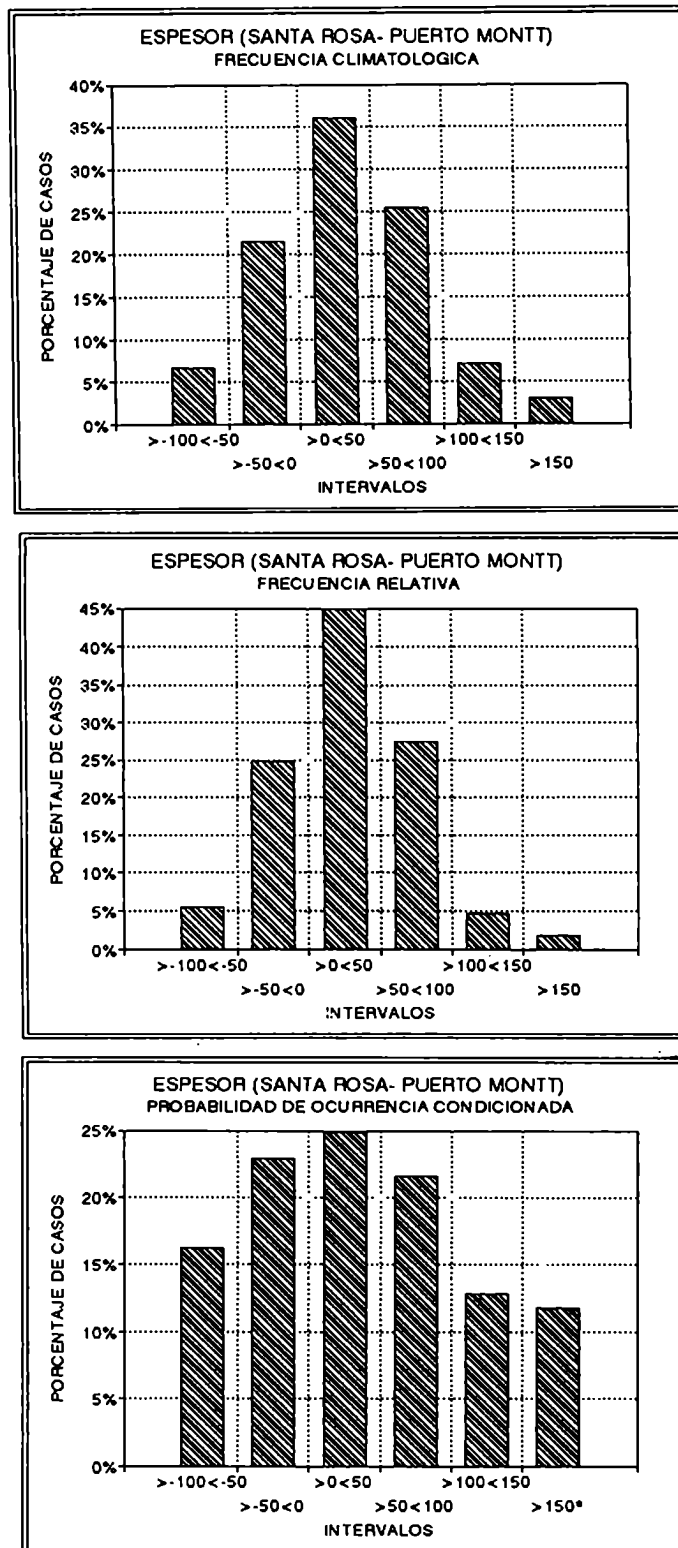


Fig. 4.4 : Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo ) de la " Diferencia de espesor 500/1000 hPa entre Santa Rosa y Puerto Montt (Chile) ".

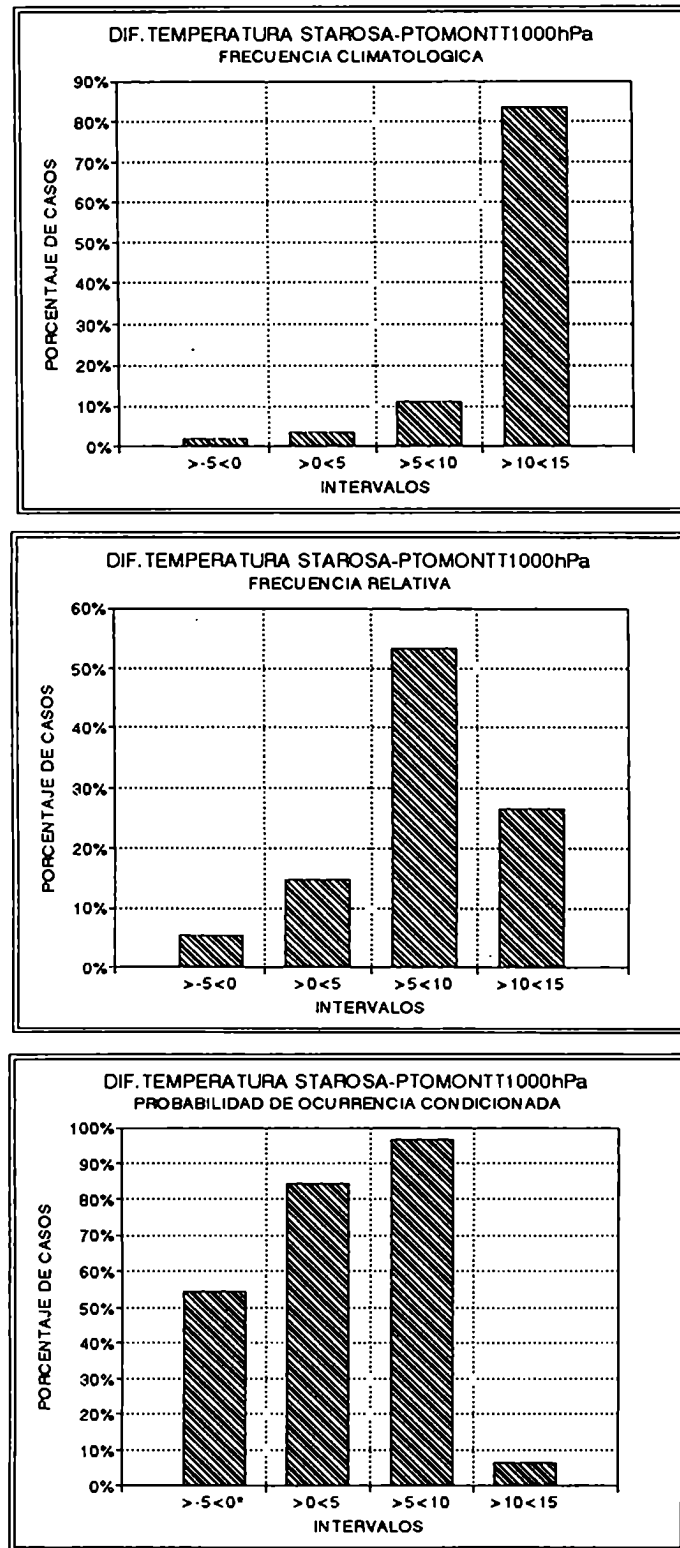


Fig. 4.5: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) de la "Diferencia de temperaturas entre Santa Rosa y Puerto Montt (Chile)" en 1000 hPa.

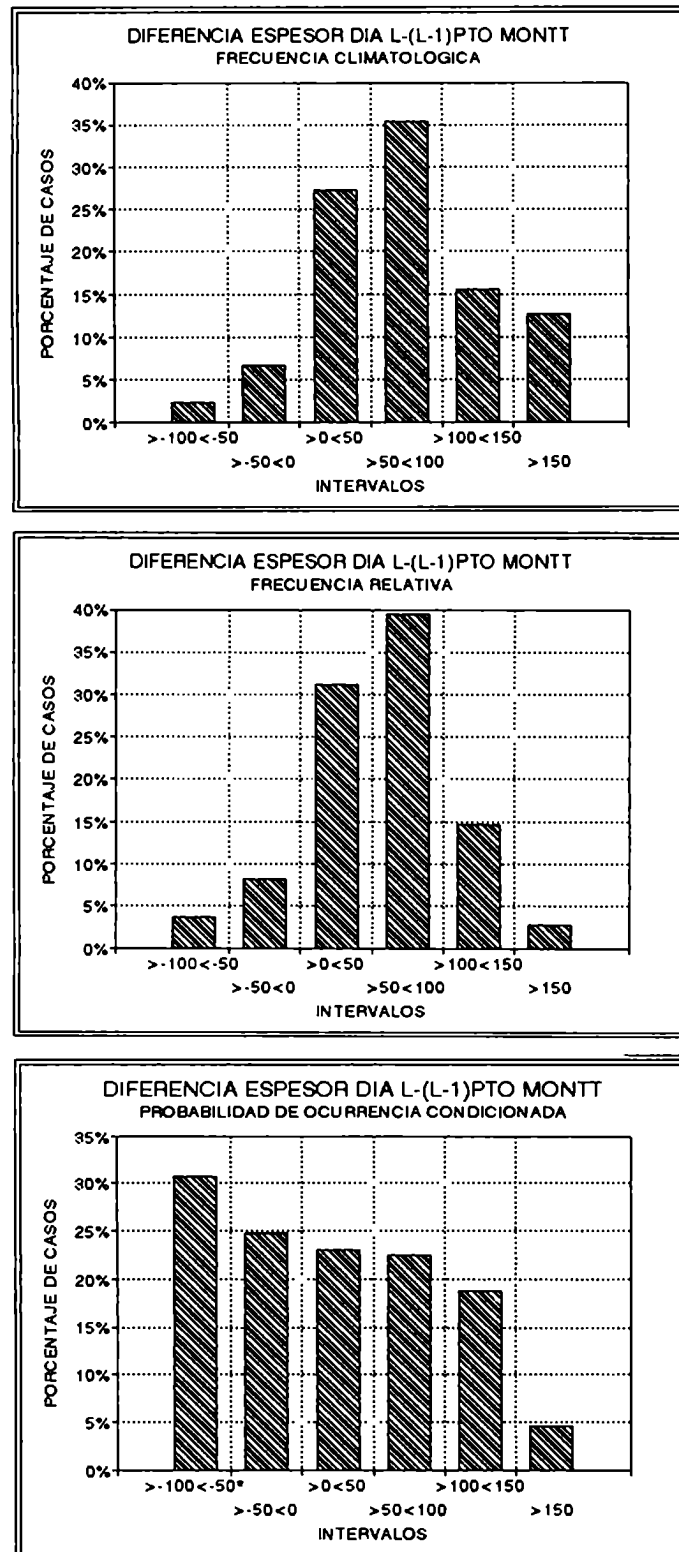


Fig. 4.6: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) de la "Diferencia de espesor día L - (L-1) Puerto Montt (Chile)".

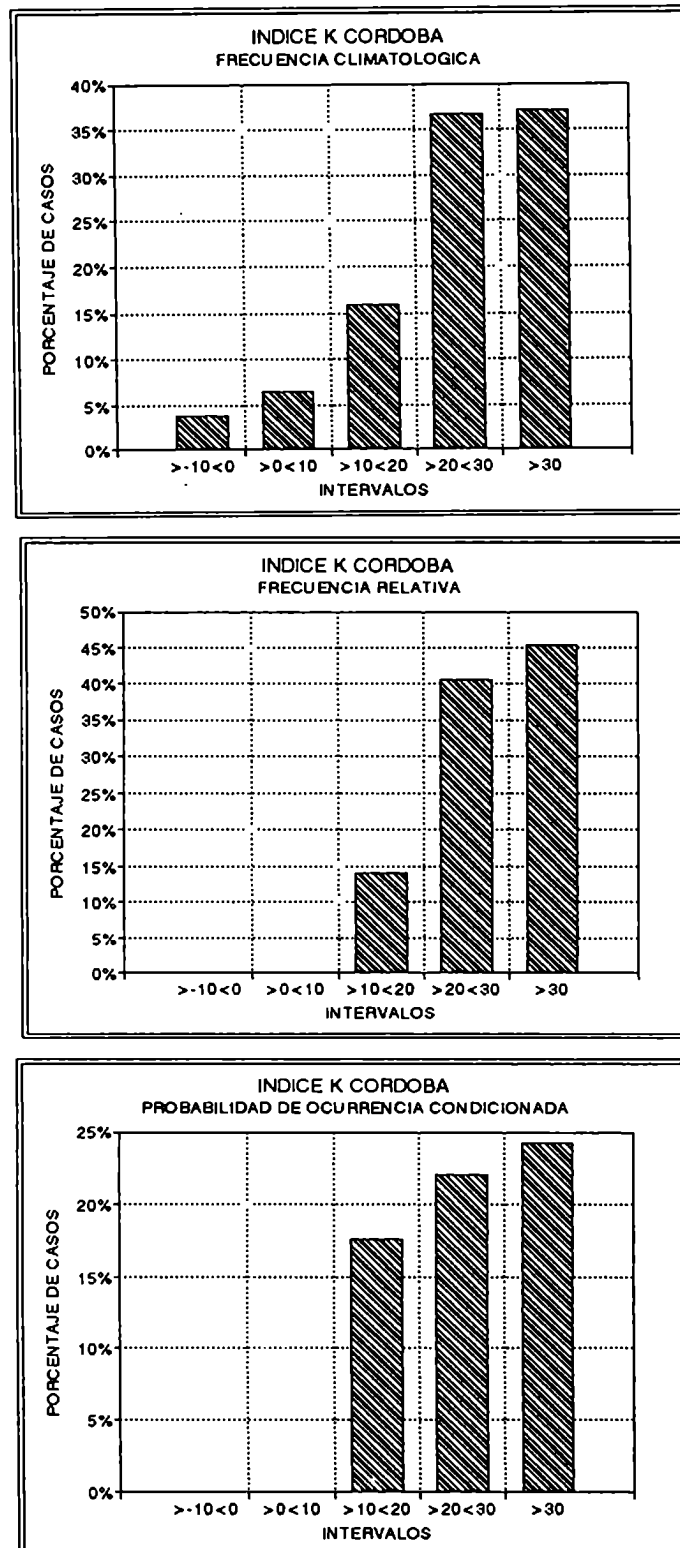


Fig. 4.7 : Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) del “Índice de inestabilidad K de Córdoba”.

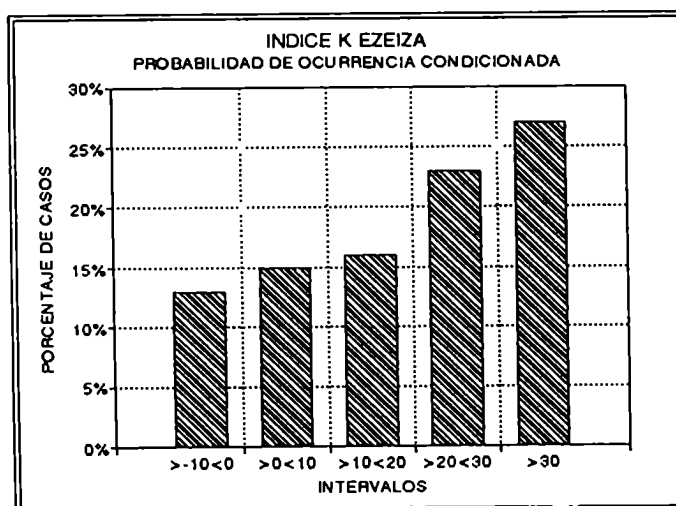
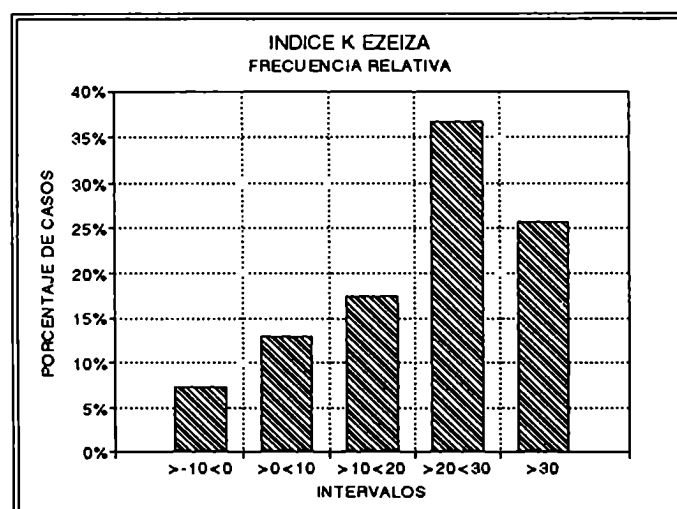
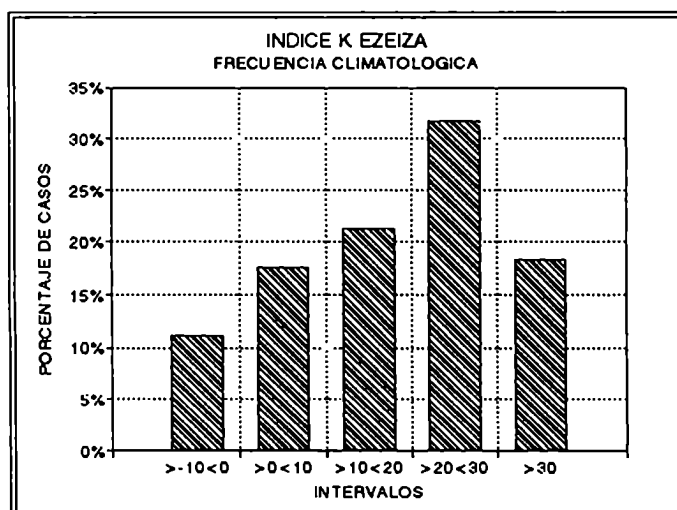


Fig. 4.8 : Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) del "Índice de inestabilidad K de Ezeiza".

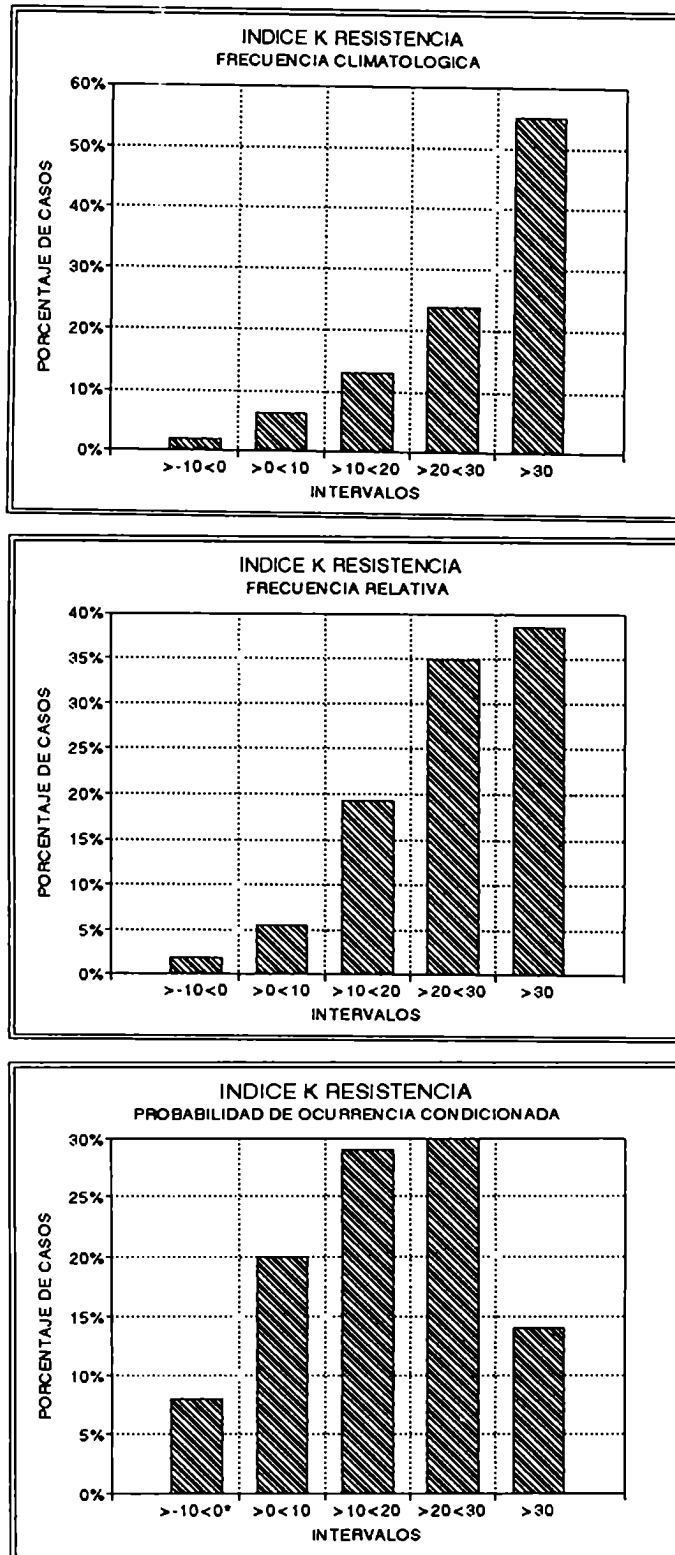


Fig. 4.9: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) del "Índice de inestabilidad K de Resistencia".

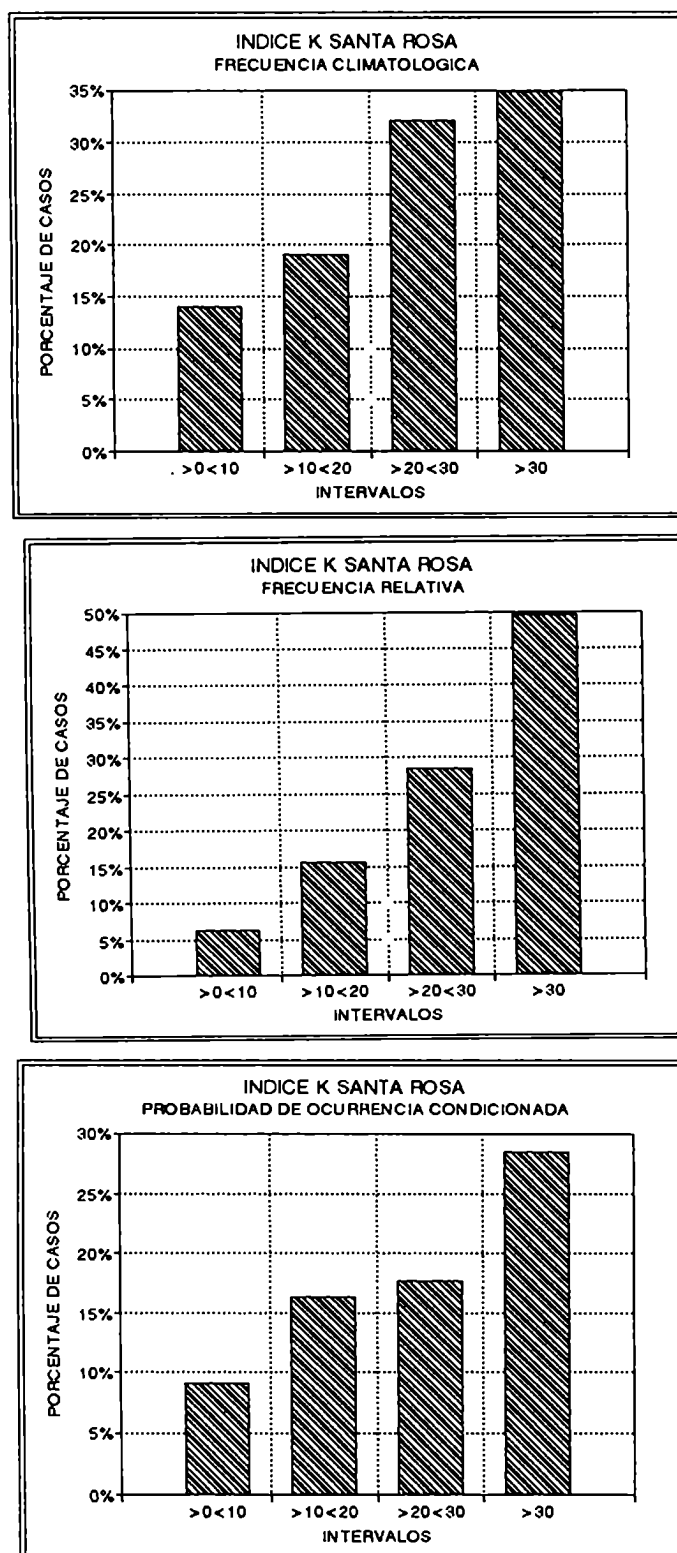


Fig. 4.10 : Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo ) del “Índice de inestabilidad K de Santa Rosa”.

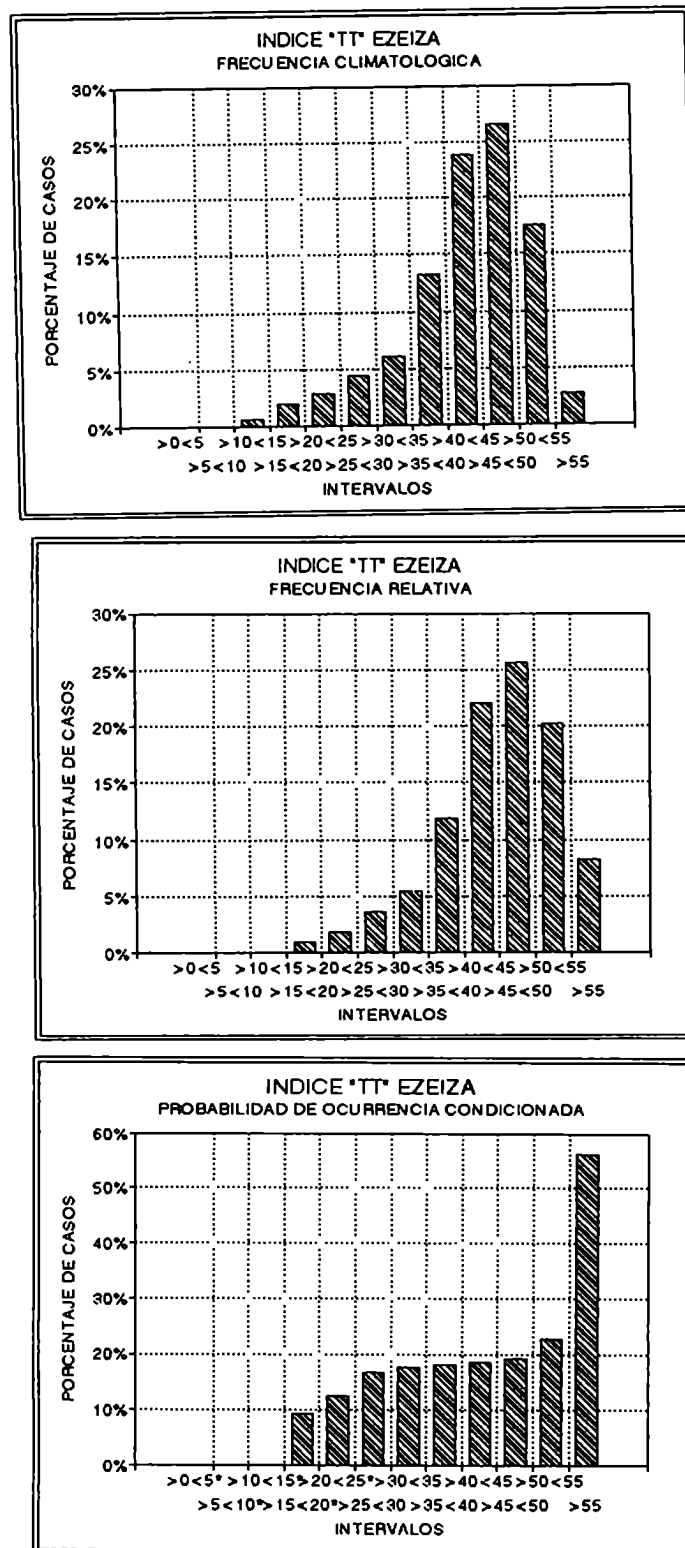


Fig. 4.11: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) del "Índice de inestabilidad Total-Total de Ezeiza".

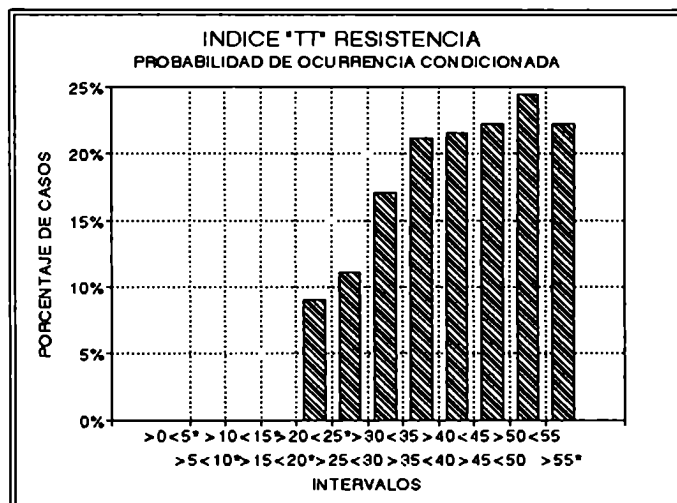
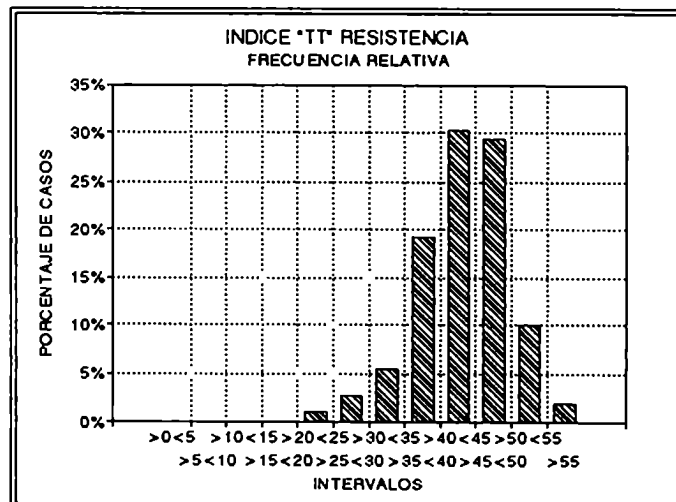
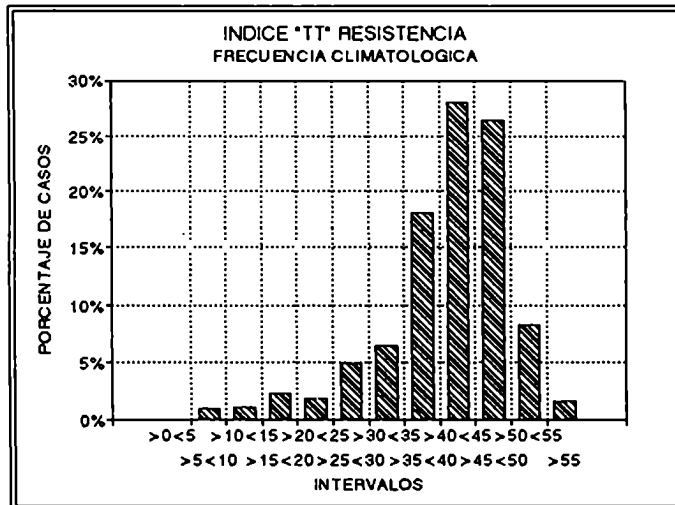


Fig. 4.12: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) del "Índice de inestabilidad Total-Total de Resistencia".

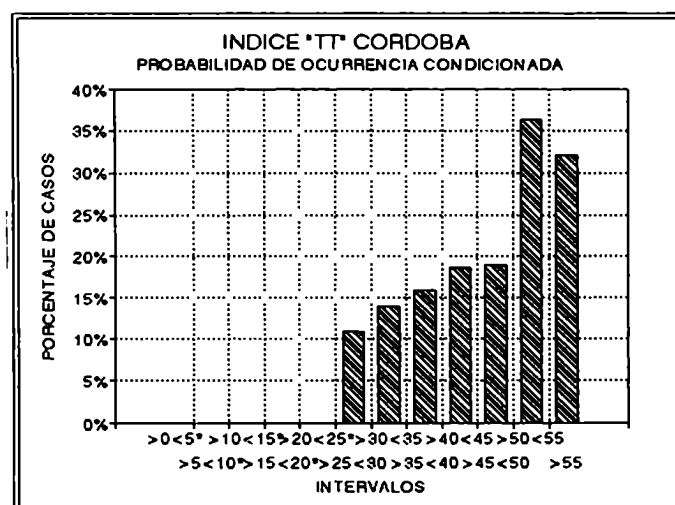
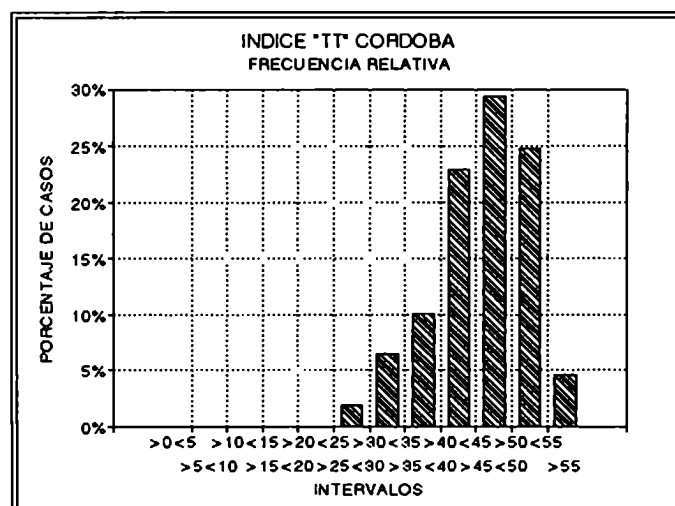
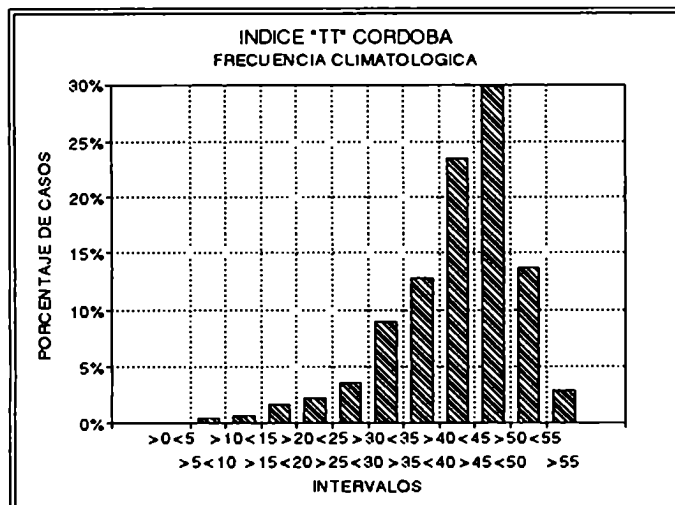


Fig. 4.13: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) del "Índice de inestabilidad Total-Total de Córdoba".

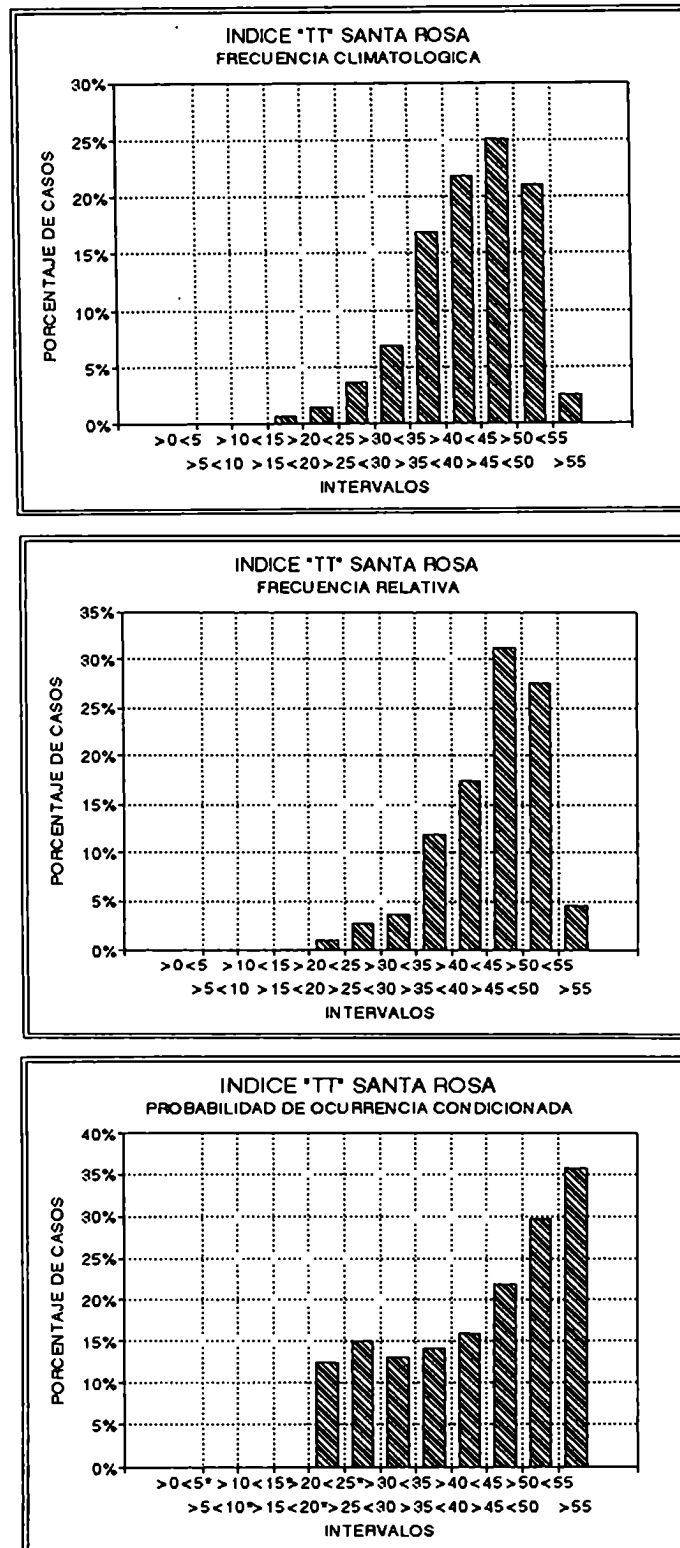


Fig. 4.14: Distribución de frecuencia climatológica (arriba), relativa (centro) y probabilidad de ocurrencia condicionada (abajo) del "Índice de inestabilidad Total-Total de Santa Rosa".

## CAPITULO V

### METODOS OBJETIVOS DE PRONOSTICO

*Se ha determinado un método objetivo de pronóstico  
de ocurrencia de línea de inestabilidad  
en base a una serie de probables predictores mediante  
el Análisis Discriminante Multivariado*

#### 5.1 Introducción

Con el objetivo de obtener un método objetivo de pronóstico de líneas de inestabilidad se utilizó el Análisis Discriminante Multivariado , técnica estadística que permite discriminar la pertenencia de un evento entre distintos grupos lo que resulta particularmente apto para pronosticar la ocurrencia o no de elementos no numéricos cómo la ocurrencia o no de precipitación (Ruiz y Vargas, 1991), Anderson (1958), Green (1978), Der- Meriditchian (1980).

Se pretende discriminar la ocurrencia o no de línea de inestabilidad dentro del área de estudio considerada , a partir de variables meteorológicas seleccionadas de acuerdo a las conclusiones extraídas de capítulos anteriores.

La discriminación se realiza a partir de diferentes variables meteorológicas seleccionadas de acuerdo al peso de los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes , maximizando de esta forma la separación entre las distintas categorías del predictando.

El número de las funciones discriminantes (o de clasificación) varía de acuerdo al número de grupos entre los cuáles se quiera efectuar la discriminación. Un determinado evento tiene un puntaje de clasificación para cada grupo y pertenecerá a aquel que presente el mayor puntaje.

## 5.2 Elección de predictores

Se seleccionaron 18 predictores en base a los resultados obtenidos en el estudio detallado de tres líneas de inestabilidad ( Cap.II) , características de los campos medios de altura y sus anomalías (Cap.III) y del comportamiento de distintos parámetros asociados a la ocurrencia de líneas de inestabilidad (Cap.IV ).

Cada uno de los días del período considerado , es decir los meses de octubre a marzo entre los años 1982-1984 fue clasificado en Grupo 1 y Grupo 2.

Se consideraron dentro del Grupo 1 a los días que condujeran dentro de las 24 horas a partir de las 12 UTC a la ocurrencia de una línea de inestabilidad dentro del área de estudio . Dentro del Grupo 2 se consideraron a los días que no condujeron dentro de las 24 horas posteriores a las 12 UTC a la ocurrencia de una línea de inestabilidad en el área de estudio.

### 5.2.1 Predictores pre - seleccionados

A continuación se ennumeran los parámetros utilizados :

1. Diferencia de altura geopotencial en 1000 hPa entre Monte Caseros y Villa María del Río Seco
2. Diferencia de altura geopotencial en 1000 hPa entre Porto Alegre y Villa María del Río Seco
3. Diferencia de altura geopotencial en 850 hPa entre Porto Alegre y Villa María del Río Seco
4. Diferencia de temperatura en 1000 hPa entre Santa Rosa y Puerto Montt
5. Diferencia de la temperatura de punto de rocío entre Santa Rosa y Neuquén en 700 hPa
6. Diferencia de espesor 500/1000 hPa entre Santa Rosa y Puerto Montt
7. Variación del espesor 500/1000 hPa en Puerto Montt durante las 24 horas precedentes al día considerado

8. Diferencia meridional de las alturas en 500 hPa que proporciona la intensidad del flujo zonal entre 30°S y 50°S a lo largo de 70°O.

$$H(30^{\circ} S ; 70^{\circ} O) - H(50^{\circ} S ; 70^{\circ} O) \text{ en } 500 \text{ hPa}$$

9. Diferencia meridional de alturas en 500 hPa tomadas entre 35°S y 45°S en 70 °O , intervalo más pequeño que el anterior en la medición del flujo zonal, y más ajustado al área de estudio .

$$H(35^{\circ} S ; 70^{\circ} O) - H(45^{\circ} S ; 70^{\circ} O) \text{ en } 500 \text{ hPa}$$

10. Curvatura del flujo en 37,5° S entre 60°O y 90°O por medio de la medición de la altura de la superficie isobárica en 500 hPa

$$(H(37,5^{\circ} S ; 60^{\circ} O) + H(37,5^{\circ} S ; 90^{\circ} O) - 2H(37,5^{\circ} S ; 75^{\circ} O))$$

11. Índice de Inestabilidad K en Ezeiza
12. Índice de Inestabilidad K en Resistencia
13. Índice de Inestabilidad K en Santa Rosa
14. Índice de Inestabilidad K en Córdoba
15. Índice de Inestabilidad “Total – Totals ” (TT) en Córdoba
16. Índice de Inestabilidad “Total – Totals ” (TT) en Santa Rosa
17. Índice de Inestabilidad “Total – Totals ” (TT) en Resistencia
18. Índice de Inestabilidad “Total – Totals ” (TT) en Ezeiza

El primer predictor considerado se tomó debido a que el Capítulo IV se observó que en la diferencia de alturas en 1000 hPa entre Monte Caseros y Villa María del Río Seco se presentaba una alta frecuencia de días con viento norte cuando se producía una línea de inestabilidad.

Así mismo el segundo predictor , que da la diferencia de alturas entre Porto Alegre y Villa María del Río Seco en 1000 hPa ,confirmó la alta predominancia de viento norte en los días de línea de inestabilidad .

El tercer predictor , está relacionado con el anterior pues la diferencia de alturas entre Monte Caseros y Villa María del Río Seco en 850 hPa se asocia con la advección de aire cálido hacia el centro del país.

El cuarto predictor , diferencia de temperatura en 1000 hPa entre Santa Rosa y Puerto Montt, se seleccionó de acuerdo a lo observado en el Capítulo IV donde la mayor probabilidad de ocurrencia se da en los intervalos con valores positivos.

El quinto predictor , elegido de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo II , se refiere a la diferencia de temperatura de punto de rocío entre Santa Rosa y Neuquén en 700 hPa que indica la posible entrada de aire seco desde el oeste o sudoeste.

El sexto predictor que corresponde a la diferencia de espesor 500/1000 hPa entre Santa Rosa y Puerto Montt marca la existencia o no de una zona baroclínica al sudoeste del área de estudio según lo visto en el capítulo III y IV

El séptimo predictor , que es la variación del espesor en 500/1000 hPa en Puerto Montt durante las 24 horas precedentes al día considerado, está relacionado con la entrada de aire frío desde el sudoeste ( Cap. IV).

El octavo predictor indica la intensidad del flujo zonal considerado en 70 °O y entre 30°S y 50 °S en 500 hPa. Este predictor fué agregado de acuerdo a los resultados obtenidos en el Capítulo III.

El noveno predictor acorta la diferencia de latitud con respecto al anterior, tomando la velocidad del flujo zonal entre 35°S y 45°S en 500 hPa. Se tomó un intervalo más pequeño a fin de ajustar el flujo al área de estudio considerada.

El décimo predictor , considera la circulación ciclónica o anticiclónica en 37,5°S entre 60°O y 90°O en 500 hPa evaluando la existencia de una vaguada en 75° O.

Los últimos tres parámetros se eligieron en base a las conclusiones extraídas del Cap. II

Los cuatro predictores siguientes se refieren a los índices de inestabilidad K de Whiting en : Ezeiza , Resistencia , Santa Rosa y Córdoba .

Los restantes predictores se refieren a los índices de inestabilidad “Total-totals ”en Córdoba, Santa Rosa, Resistencia y Ezeiza.

Los ocho últimos predictores fueron tomados de acuerdo a los resultados del Cap. IV

### 5.2.2 Selección de los parámetros utilizando el Método Discriminante Multivariado

Con el fin de extraer una muestra totalmente independiente del total de casos para verificar los resultados obtenidos se mezcló al azar la muestra total de 546 casos disponibles, de la cual se separaron 101 casos (aproximadamente el 30% de la muestra total) para verificación y 445 casos para la obtención de los mejores predictores.

Sobre los 445 casos se aplicó el Análisis Discriminante Multivariado a la misma utilizando todos los predictores anteriormente detallados.

*La matriz de clasificación obtenida fue la siguiente:*

| Observado | Clasificado |     | % Correcto |
|-----------|-------------|-----|------------|
|           | SI          | NO  |            |
| SI        | 54          | 26  | 67,5 %     |
| NO        | 138         | 227 | 62,19 %    |

*El porcentaje correctamente discriminado es 63,14%.*

La cantidad de líneas bien clasificadas es 54 (acierto), mientras que la cantidad de desacierto es 26 (sorpresa).

En cuanto a los casos no observado y no clasificado hay 227 aciertos y 138 desaciertos (falsas alarmas).

### 5.2.3 Selección de los mejores predictores

Los mejores predictores rescatados por el método fueron las siguientes:

**Predictor N°16** Índice de Inestabilidad “TT” Santa Rosa

**Predictor N° 9** Diferencia de alturas entre 30° S y 50° S en 70° O en 500 hPa  
(Estimador de intensidad del flujo zonal en 500 hPa)  
H ( 30° S ; 70°O ) - H (50° S ; 70° O) en 500 hPa

**Predictor N° 7** Diferencia de espesor 500/1000 hPa  
Puerto Montt (Día de línea – Día (línea –1))

**Predictor N° 6** Diferencia de espesor 500/1000 hPa entre Santa Rosa y  
Puerto Montt

La matriz de clasificación obtenida es la siguiente:

| Observado | Clasificado |     | % Correcto |
|-----------|-------------|-----|------------|
|           | SI          | NO  |            |
| SI        | 55          | 25  | 68,75%     |
| NO        | 131         | 234 | 64,10%     |

El porcentaje correcto es de 64,98%.

Considerando las variables que el método rescata cómo las mejores predictoras se observa que de la muestra total de líneas se clasificaron acertadamente 55 (acierto), en tanto que no clasificadas y que se produjo el evento resultaron 25 (sorpresa). Para los días de “no línea” hay 234 casos bien discriminados y 131 que no lo fueron.

### 5.3 Verificación sobre los 101 casos tomados al azar

Para la verificación de la bondad en el pronóstico de líneas de inestabilidad ,se tomó una serie independiente de 101 casos extraída de la muestra de 546 casos previamente mezclada al azar, a partir de la cual se verificaron los predictores obtenidos con la muestra de 445 casos.

Usando los cuatro predictores hallados anteriormente el resultado fué el siguiente:

La matriz obtenida es la siguiente:

| Observado | Pronosticado |    | % Correcto |
|-----------|--------------|----|------------|
|           | SI           | NO |            |
| SI        | 22           | 3  | 88%        |
| NO        | 24           | 52 | 68,42%     |

Puede verse un número relativamente alto de falsas alarmas .Se estima que pueden estar constituidos por líneas de inestabilidad que no ingresaron en el área de estudio o formas de convección no organizadas en forma de línea de inestabilidad.

### 5.3.1 Porcentaje de acierto

Definiendo (AB) número de veces que se pronosticó SI y ocurrió SI

(Ab) número de veces que se pronosticó SI y ocurrió NO

(aB) número de veces que se pronosticó NO y ocurrió SI

(ab) número de veces que se pronosticó NO y ocurrió NO

El *porcentaje de acierto* respecto del total se establece cómo:

$$A = ((AB) + (ab)) \cdot 100 / N$$

El *porcentaje de acierto* usando los “cuatro predictores” considerados :

$$A = 73,26\%$$

### 5.3.2 Coeficiente de Yule

Se define al coeficiente de Yule cómo :

$$Q = ((AB) \cdot (ab) - (Ab) \cdot (aB)) / ((AB) \cdot (ab) + (Ab) \cdot (aB))$$

Este coeficiente marca la relación cualitativa entre dos sucesos.

Si  $Q > 0$  existe una asociación positiva entre los dos sucesos.

Si  $Q < 0$  hay una disociación.

Si  $Q = 0$  los dos sucesos son independientes.

Los *extremos* son  $Q = 1$  y  $Q = -1$ .

Para la *verificación de un pronóstico*, este coeficiente marca la asociación entre el fenómeno pronosticado y el ocurrido.

Si  $Q = 1$  El acierto es total:  $(AB) + (ab) = N$

Si  $Q > 0$  Hay asociación entre lo pronosticado y lo ocurrido

Si  $Q < 0$  Hay asociación negativa entre lo pronosticado y lo ocurrido.

Si  $Q = -1$  Hay un desacierto total entre lo pronosticado y lo ocurrido

Si el *pronóstico es acertado* el coeficiente de Yule debe ser:

$$Q > 0.$$

En el caso de las “*cuatro predictores*” tomados:

$$Q = 0.88$$

### 5.3.3 Skill - Score

Este parámetro es usado frecuentemente para la verificación de pronósticos determinísticos (Brier, 1950)

Se define como :  $S = ((AB) + (ab) - L) / NL$

$$\text{donde } L = ((A) \cdot (B) + (a) \cdot (b)) / N$$

El *número de aciertos* está dado por la suma de  $(AB) + (ab)$ .

Si todos los pronósticos son acertados  $S = 1$  pues la relación

$$(AB) + (ab) = N.$$

Si el número de aciertos es  $(AB)+(ab)=L$  esto implica que  $S=0$ , entonces el número de aciertos es el que se hubiera obtenido por “*chance climatológica*” según lo definió Petterssen ( 1955).

En una oficina que presta buen servicio de pronóstico

$$S > 0$$

El resultado para las “cuatro predictores” tomados es:

$$S = 0.48$$

Puede observarse que el pronóstico supera el acierto por “chance climatológica”. En la matriz de clasificación el porcentaje de acierto para la muestra independiente es mayor que para los 445 casos. Los coeficientes de verificación obtenidos permiten inferir que los predictores seleccionados por el método discriminante multivariado, dan una buena probabilidad de acierto en el pronóstico a 24 horas de líneas de inestabilidad dentro del área de estudio considerada.

## 5.4

### Conclusiones

Con el fin de determinar un método objetivo de pronóstico de líneas de inestabilidad fue aplicado el Método Discriminante Multivariado a dieciocho predictores.

El índice de inestabilidad "Total-Totals" en Santa Rosa ; la intensidad del flujo zonal en la troposfera media; la entrada de aire frío por Puerto Montt durante las 24 horas precedentes a la aparición de la línea de inestabilidad dentro del área de estudio y la diferencia de espesor entre Santa Rosa y Puerto Montt, son los cuatro mejores predictores citados en orden de importancia rescatados por el método.

Utilizando una muestra independiente de 101 casos se probaron los cuatro predictores dando un porcentaje de 73% de acierto en el pronóstico a 24 horas de líneas de inestabilidad dentro del área de estudio, y un porcentaje del 32% de falsas alarmas, que puede deberse a convección no organizada en forma de línea de inestabilidad dentro del área.

## ***ANEXOS***

**FECHAS DE LINEAS DE INESTABILIDAD**

| AÑOS         | ENERO                            | FEBRERO                | MARZO      | OCTUBRE                     | NOVIEMBRE               | DICIEMBRE                                 |
|--------------|----------------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| 1982         | 8-12-15-19<br>20-28-29           | 2-10-13                | 7-9-16     | 3-4-10-11-<br>21-30         | 4-5-6-9-10-<br>24-25-29 | 13-16-17-<br>20-28                        |
| 1983         | 1-7-8-10-<br>12-22-23-<br>25-28  | 20-21-23-<br>24-25     | 4-6-15-26  | 8-13-14-<br>15-19-27-<br>30 | 5-6-9-11-<br>16-29      | 2-3-8-10-<br>14-15-18-<br>19-24-26-<br>29 |
| 1984         | 1-5-12-15-<br>18-24-26-<br>28-29 | 3-9-12-13-<br>18-21-25 | 7-15-19-23 | 16-19-24                    | 14-20-21-<br>30         | 4-7-9-11-<br>15-19-26-<br>28              |
| <b>TOTAL</b> | 25                               | 15                     | 11         | 16                          | 18                      | 24                                        |

## ANEXO 1

### ESTACIONES METEOROLOGICAS UTILIZADAS

#### A) Argentina

| <b>Nombre</b>  | <b>Latitud (° S )</b> | <b>Longitud (° O)</b> |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Aeroparque     | 34.30´                | 58.20´                |
| Bahía Blanca   | 38.44´                | 62.10´                |
| Córdoba        | 31.19´                | 64.13´                |
| Corrientes     | 27.27´                | 58.46´                |
| Ezeiza         | 34.49´                | 58.32´                |
| Gral Pico      | 35.42´                | 63.45´                |
| Junín          | 34.33´                | 60.55´                |
| La Rioja       | 29.23´                | 66.49´                |
| Marcos Juarez  | 32.42´                | 62.09´                |
| Mar del Plata  | 37.56´                | 57.35´                |
| Mendoza        | 32.50´                | 68.47´                |
| Monte Caseros  | 30.16´                | 57.39´                |
| Neuquén        | 38.57´                | 68.08´                |
| Resistencia    | 27.27´                | 59.03´                |
| Río Cuarto     | 33.07´                | 64.14´                |
| Salta          | 24.51´                | 65.29´                |
| San Luis       | 33.16´                | 66.21´                |
| San Rafael     | 34.35´                | 68.24´                |
| Santa Teresita | 36.33´                | 56.41´                |
| Villa Dolores  | 31.57´                | 65.08´                |

## ANEXO 1

|                          |        |        |
|--------------------------|--------|--------|
| Villa María del Río Seco | 29.54' | 63.41' |
| <b>B) Brasil</b>         |        |        |
| Porto Alegre             | 30.00' | 51.10' |
| <b>C) Chilenas</b>       |        |        |
| Antofagasta              | 23.30' | 70.30' |
| Quintero                 | 32.50' | 71.30' |
| Puerto Montt             | 41.30' | 72.60' |
| <b>D) Uruguay</b>        |        |        |
| Durazno                  | 33.2'  | 56.5'  |
| Mercedes                 | 33.15' | 58.04' |

## INDICES DE INESTABILIDAD

A fin de investigar las condiciones de estabilidad de las masas de aire reinantes durante la formación y evolución de las líneas de inestabilidad, se efectuó el cálculo de algunos índices de inestabilidad de uso frecuente operativo, cuya denominación, definición y valor crítico se muestran en la tabla.

| INDICE | DEFINICION                               |                                                         |
|--------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| SH     | Indice de Showalter<br>(Showalter, 1953) | $T_{500} - T'_{500}$                                    |
| K      | Indice K<br>(George, 1960)               | $(T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$ |
| TT     | Indice "Total- Totals"<br>(Miller, 1967) | $T_{850} + Td_{850} - 2T_{500}$                         |

En el índice de Showalter  $T_{500}$  es la temperatura del entorno en 500 hPa mientras que  $T'_{500}$  es la temperatura que alcanza la parcela del nivel de 850 hPa cuando es ascendida adiabaticamente hasta el nivel de 500 hPa.

En el índice K, los subíndices indican el nivel isobárico de las temperaturas (T) o temperaturas de punto de rocío (Td).

En el índice "Total- Totals", la simbología es análoga al de los otros índices.

## ANÁLISIS DISCRIMINANTE

El análisis discriminante provee una técnica para examinar diferencia entre dos o más grupos de objetos con respecto a una cantidad de variables simultáneamente.

Esta técnica estadística introduce funciones canónicas discriminantes , clasificación de funciones , procedimientos y varios criterios de selección para la inclusión de variables en el análisis discriminante.

Una de las aplicaciones es derivar una o mas ecuaciones con el propósito de clasificación. Estas ecuaciones son llamadas funciones discriminantes.

Para pronosticar líneas de inestabilidad se definieron dos grupos: Grupo 1 a los días dentro del período considerado que dentro de las 24 horas a partir de las 12 UTC se produce el evento dentro del área de estudio y Grupo 2 a los días que no condujeran dentro de las 24 horas a partir de las 12 UTC a la ocurrencia de una línea de inestabilidad .

El método discrimina entre grupos expresándose en forma de funciones de clasificación con sus coeficientes y sus términos constantes, habiendo tantas funciones como grupos, en este caso dos.

Cada una permite obtener un puntaje de clasificación de un determinado día para ese grupo y el día pertenecerá al grupo cuya función de el puntaje mayor.

Además se puede obtener la probabilidad que un día determinado pertenezca a un grupo u otro mediante los puntajes de clasificación.

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 variables que indica la mayor separación entre grupos es introducida dentro de la función discriminante

El programa imprime el estadístico F de Fischer de entrada para cada variable considerada, valor que fue obtenido a partir de un análisis de variancia univariado aplicado a las variables de los grupos usados en el análisis lo que permite establecer el grado de semejanza o diferencia entre cada grupo para cada variable.

La variable con el mayor estadístico F de entrada es introducido en la función discriminante y esta es la que mejor discrimina entre grupos.

**FUNCION DISCRIMINANTE**

Las funciones de clasificación se utilizan para clasificar los casos dentro de los grupos, el caso es asignado al grupo cuya función de clasificación dé el mayor valor. Por ej. en el caso de dos predictores numéricos  $X_1$  y  $X_2$  se define una función discriminante por :

$$L = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

La constante  $b_0$  esta determinada por la relación  $L=0$  define el punto de separación entre dos grupos de eventos.

En particular si  $L > 0$  se pronostica que el evento es del grupo 1, y si  $L < 0$  se predice que el evento es del grupo 2.

Los coeficientes  $b_1$  y  $b_2$  son elegidos de manera de maximizar la cantidad

$$T^2 = ((L(1) - L(2)) / S_L)^2$$

La cantidad  $L(1)$  es el valor medio de  $L$  para el primer grupo de casos y  $L(2)$  es el valor medio de  $L$  para el segundo grupo,  $S_L$  es la desviación standart de  $L$  estimado desde la combinación de sumas de cuadrados dentro de cada grupo.

El puntaje de clasificación para cada grupo a partir de los coeficientes de la función discriminante se calcula multiplicando los datos por los coeficientes y sumarlos el término constante. El caso es clasificado dentro del grupo para el cuál el puntaje de clasificación es el mas alto. (Panofvsky, H.A, et.al., 1965 ; Klecka W.R., 1975)

## REFERENCIAS

- Alessandro P. (1995): *“Algunos aspectos de la influencia del continente sudamericano en la circulación regional ”*. Meteorológica N°20, pp.56
- Anderson T. W. (1958 ) *“Introduction to Multivariate Statistical Analysis”* Section 6.6-6.8 Wiley ,375 pp.
- Bergeron, T., 1954: *“The problem of tropical hurricanes”*. Quart. J.meteor.Soc.,80, 131.
- Benzaquen R. (1974) : *“Análisis de una linea de inestabilidad con la ayuda de imágenes proporcionadas por satélites meteorológicos ”* Meteorológica Vol. XIV N° 1 y 2 pp. 681-692.
- Bischoff S. y I. Velasco (1979) : *“Estudio del mesosistema del 13 de abril de 1972”* Meteorológica Vol. X, N°2, pp. 43-53.
- Breiland ,J.G.(1951) : *“Meteorological conditions associated with the development of instability lines”* Journal of Met. Vol. 15, N°3
- Brier G.W (1950) *“Verification of forecasts expressed in terms of probability”* Mon.Rev. Vol 78 N° 1 pp. 1-3
- Brynstein S. M. , y W. M Vargas (1983) *“Sensibilidad de la Serie de Rendimiento del Cultivo de Trigo con respecto a Variables Climáticas ”* Meteorológica
- Byers H. R. , and R.C. Braham 1949) : *“ The Thunderstorm ”* U.S. Weather Bureau Government Printing Office , Washington, D.C., 2879pp.
- Colquhoun, J. R (1980) : *“ A method of estimating the velocity of a severe thunderstorms using the vertical wind profile in the storm 's environment”*. Preprints Eight Conf.Weather Forecasting and Analysis , Denver, Amer. Meteor.Soc.,316-223.
- Colquhoun, J. R. (1987): *“ A Decision Tree Method of Forecasting Thunderstorms ,Severe Thunderstorms and Tornadoes”*., Weather and Forecasting, Amer. Meteor. Soc., Vol.1,N°4.
- Der- Meriditchian (1980) J. J . (1980) *“Application of Discriminant Analysis in Meteorology: Statistical Climatology”* Elsevier , Amsterdam, 241pp.
- Doswell ,C.A III (1980): *“Synoptic scale environments associated with High Planes severe thunder-storms with High Plains severe thunder-storms”*. Bull.Amer. Meteor. Soc., 61, 1pp.1388-1400.

## REFERENCIAS

- Doswell, C.A. III, and R.A. Maddox (1981): "*Forecaster training – A review and analysis*". Bull. Amer. Meteor. Soc., 62, 983-988.
- Doswell ,C.A. III (1982): "*The Operational Meteorology of Convective Weather* " Vo I : Operational Mesoanalysis. NOAA
- Doswell , C.A. III (1985) : "*The Operational Meteorology of Convective Weather*" Vol. II : Storm Scale Analysis . NOAA.
- Durand- Gréville , E., (1892) : "*Les grains et les orages*". Ann. Centr.Meteor. de France, 1, 249.
- Fujita , T.,(1955) : "*Results of detailed synoptic studies of squall-lines*". Tellus,4, 405-436.
- Fujita, T., (1957): "*Three dimensional mesoanalysis of a squall line*". Illinois State Water Svy. Res.Rep.1, Contract DA-36-039-SC-64656.
- Fulks,J.R.,(1951): "*The instability line*". Compendium of Meteorology, Amer. Meteor Soc.,647-652.
- George , J.J.( 1960): "*Forecasting for Aeronautics* ", New York ; Academic Press.
- Gordillo S. B. ( 1993): "*Estudio de las condiciones dinámicas y termodinámicas de una línea de inestabilidad en Argentina*". III Congreso Colombiano de Meteorología .Memorias , pp. 21-28.
- Gordillo S. B. , C. Ruibal (1994) : "*Estudio de un fenómeno hidrometeorológico de la región semiárida*", VIII Congreso Brasileiro de Meteorología.II Congreso Latino-Americano e Ibérico de Meteorología. Belo Horizonte, Brasil ; pp. 565-570.
- Gordillo S.B. (1996): "*Línea de inestabilidad en Argentina tomada por un radar M33*" IX Congreso Brasileiro de Meteorología .Brasil ; pp. 945-948.
- Green P. E . (1978) : "*Analyzing Multivariate Data* ", The Dryden Press , Hinsdale, Illinois, 519 pp .
- Hane C. E. (1973): "*Extratropical Squall Lines and Rainbands*" J j.Atmos.Sci.,30, pp. 360-389.
- Harrison H. T., and W. K. Orendorff , (1941) : "*Pre-cold frontal squall lines*" United Air Lines Transport Corp. Meteor.Circ.,Nº16
- Hoffman J. A . (1975): "*Atlas Climático de América del Sur*", OMM- UNESCO , Impreso en Cartagraphia, Budapest, Hungria.
- Houze R.A Jr.(1977) : "*Structure and dynamics of a tropical squall-line system observed during GATE*". Mon. Wea.Rev., 105,1540-1567.

## REFERENCIAS

- Houze R. A.Jr, B. F. Smull., P. Dodge (1990) : “*Mesoscale Organization of Springtime Rainstorms in Oklahoma*”, Monthly Weather Review ,Vol.118 ,613-651.
- Klecka W.R. (1975) :“*Discriminant Analysis* ” ,Sage University Paper Series.New York:Mc Graw – Hill,pp. 5-69 .
- Klemp ,J.B.,and R.B. Wilhelmson (1978): “ *The simulation of three-dimensional convective storm dynamics*”.J. Atmos.Sci.,35,1070-1096.
- Lichtenstein, E. R. y M. L. A. Schwarzkopf (1966) : “ *Squall – lines in Argentina*”. Weather, 21 (5), pp . 181-186.
- Lichtenstein ,E.R. y M.L.A Schwarzkopf (1970) :”*Aspectos estadísticos de las líneas de inestabilidad en la Argentina*” Meteorológica Vol.1, Nº1 , pp. 3-12.
- Lichtenstein, E.R. y M. L.A Schwarzkopf (1970 ) : “*Condiciones meteorológicas asociadas a la ocurrencia de líneas de inestabilidad*” Meteorológica Vol.1, Nº2, pp. 79-89.
- Lichtenstein E. R. (1980): “*La depresión del Noroeste Argentino* “Tesis Doctoral (U.B.A)
- Lichtenstein E. R. (1990) :“*Algunas influencias de la Cordillera de los Andes sobre la circulación de escala sinóptica* ”, Conferencia en el Departamento de Ciencias de la Atmósfera .
- Maddox ,R.A.and Doswell C. A. (1982) : “*An examination of jet stream configurations , 500mb vorticity advection and low level thermal advection patterns during extended periods of intense convection*”. Mon.Wea.Rev., pp. 184-197.
- Miller R.C . (1967) :“*Notes on Analysis and Severe- Storm Forecasting Procedures of the Military Weather Warning Center* ”, Technical Report 200, AWS, USAF.
- Nery J.T , M. E. Seluchi, S. M. Brynstein (1991): “*Modelo de Pronóstico Estadístico de Heladas para la región de Maringá* ”, Anales Congremet VI
- Newton C.W. (1950) :“*Structure and mechanism of the prefrontal squall line*”, Journal of Meteorology Vol.7, Number 3.
- Nicolini M. , M. Torres Brizuela (1997). ” *Estadística de vientos fuertes asociados a convección en Ezeiza y Resistencia y estudio numérico de los forzantes en un caso real*”. Meteorológica 22, Nº2, pp. 19-40.
- Norte F. A . (1988) “*Características del Viento Zonda en la Región de Cuyo* ” Tesis Doctoral (U.B.A)
- Orville (1986) “ *A numerical simulation of the life history of a rainstorm* ” J. Atmos.Sci.,27, pp. 1148-1159.

## REFERENCIAS

- Rotunno, R., J. B. Klemp, M. Weisman ( 1988) "*A theory for Strong , Long-Lived Squall lines*" , J. Atmos. Sci., 45, pp. 463-485.
- Rodon , J. , S. B. Gordillo (1982) "*Estudio de las masas de aire que participaron en el mecanismo de una línea de inestabilidad*". Meteorología Vol. XIV ; pp. 681-692.
- Ruiz N. E. , W. M. Vargas (1991) "*Ensayo de pronóstico objetivo de probabilidad de precipitación en Buenos Aires en base a análisis de 500 hPa del ECMWF*" , Meteorológica Vol. 19 , Nº 1 y 2.
- Saluzzi M.E ., S. B. Gordillo (1994) "*Desarrollo de una intensa línea de inestabilidad en la región central de la pampa húmeda*" , VIII Congreso Brasileiro de Meteorología II Congreso Latino Americano e Ibérico de Meteorología . Belo Horizonte, Brasil , pp. 172-175.
- Seluchi M.E. , E.R. Lichtenstein (1988) "*Condiciones previas a la ocurrencia de las tormentas del 12 de abril de 1983*". Geoacta 16, pp 53-56.
- Seluchi M.E .(1993) "*Estudio del Comportamiento de los Sistemas Sinópticos Migratorios en la Argentina*". Tesis Doctoral (U.B.A)
- Showalter, A.K. (1953 ) "*A stability index for thunderstorm forecasting*". Bull. Amer. Meteor. Soc., 6, pp. 250-252.
- Smull ,B.F., and. R.A. Houze, Jr (1985): "*A midlatitude squall line with a trailing region of stratiform rain: Radar and observations*". Mon. Wea. Rev., 113, pp .117-133.
- Suckstorff, G.A., 1938: "*Kaltluftzeugung durch neiderschlag*". Meteor, Z, 55, 287-292.
- Tepper M., (1950): "*A proposed mechanism of squall lines: the pressure jump lines*". J. Meteor., 7, pp. 21-29
- Weisman ,M.L., and J. B. Klemp (1982): "*The dependence of storm structure on vertical wind shear and buoyancy*". Mon. Wea. Rev. 110, 504-520.
- Williams, D.T., (1948 ): "*A surface micro -study of squall-line thunderstorms*" Mon. Wea. Rev., 76, pp. 239-246.
- Williams, D. T., (1953): "*Pressure wave observations in the central midwest*" , 1952. Mon. Wea. Rev., 81, 278-298.