

## CONDICIONES METEOROLOGICAS ASOCIADAS A LA OCURRENCIA DE HELADAS EN LA REGION DE MARINGÁ

MARCELO E. SELUCHI

Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera  
CONICET / Universidad de Buenos Aires  
Ciudad Universitaria, Pabellon II  
Buenos Aires, Argentina

JONAS T. NERY

Departamento de Física  
Fundação Universidade Estadual de Maringá  
DFI-FUEM, Brasil

### RESUMO

A cidade de Maringá está situada ao norte do Estado do Paraná. É uma região de economia agrícola, centrada na produção de soja, trigo, milho, café. Estas produções são algumas vezes afetadas por geadas que ocasionam grandes prejuízos econômicos a este Estado.

Para este estudo foram utilizados dados da estação de Maringá (1980/1989), rádios sondagem de Resistencia, Córdoba, e Neuquén (1980/1984) e dados diários do ECMWF para o período 1980/1988.

A situação sinótica média, de todos os casos de geadas, mostra uma entrada de um centro de alta do Sul da Argentina "forçado" pelas correntes da troposfera média e Cordilheira dos Andes, seguindo um avanço meridional e continental.

O objetivo deste trabalho é, utilizando Análises Discriminantes, prognosticar situações sinóticas na Argentina, que propiciem a ocorrência de geada no Sul do Brasil.

### ABSTRACT

The city of Maringá is situated in the northern part of Paraná State. This is an eminently agricultural region where the cultivation of soya, wheat and coffee outstands. This production is sometimes affected by frosts.

Four daily surface data at Maringá station, radiosondes at Resistencia, Córdoba and Neuquén, and grid points values of daily analysis provided by ECMWF were used.

The average synoptic situation shows the entrance of a transient anticyclone from southern Argentina which, forced by the currents at midtroposphere and the Andes mountains, follows a strongly meridional and continental track.

To obtain objective methods for frost event forecasts the Multivariate Discriminant Analysis was used.

### 1. INTRODUCCION

El Estado de Paraná se caracteriza desde el punto de vista climático como una región de transición entre el clima tropical y subtropical. Sin embargo, durante el invierno los pasajes frontales resultan más frecuentes e intensos (Hoffmann, 1971), pudiendo alcanzar latitudes muy bajas (Seluchi y Lichtenstein, 1992a). Las masas de

aire polar involucradas producen en ocasiones marcados enfriamientos (especialmente entre mayo y octubre) que conducen a condiciones de heladas.

La ciudad de Maringá (23,2°S, 51,6°O), cuya altura sobre el nivel del mar es de aproximadamente 500 metros, se encuentra ubicada en el norte de este Estado. Esta región, caracterizada por una topografía serrana, basa su economía en la actividad agrícola destacándose en

tre otros el cultivo de café, trigo y soja. Esta producción se ve afectada en algunas oportunidades por la ocurrencia de bajas temperaturas, que ocasionan daños muy serios en las plantaciones.

La ocurrencia de heladas en el sur de Brasil es, por otra parte, un fenómeno poco estudiado y la mayoría de los trabajos realizados en este sentido se refieren, en general, al análisis exhaustivo de casos particulares (Hamilton y Tarifa, 1978; Fortune y Kousky, 1983; Satyamurty y otros, 1990).

El propósito del presente trabajo es estudiar las condiciones sinópticas medias conducentes a situaciones de helada en la región mencionada y obtener métodos objetivos para su pronóstico.

Se emplearon a tal efecto las libretas meteorológicas de la estación Maringá (datos cuatrídurnos de las horas 0, 6, 12 y 18 UTC correspondientes al período 1980/1988), los análisis diarios en puntos de reticulado provistos por el Centro Europeo de Pronóstico a Mediano Plazo (ECMWF) (en los niveles de 1000 y 500 hPa (hora 12 UTC) durante el período 1980/1988) y los radiosondeos de las estaciones Resistencia (27,4°S, 59,1°O), Córdoba (31,3°S, 64,2°O) y Neuquén (39,0°S, 68,1°O) durante el período 1980 a 1984 (12 UTC). La ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas Maringá (Brasil), Resistencia, Córdoba y Neuquén (Argentina).

## 2. ANALISIS DE RESULTADOS

A partir de las libretas meteorológicas de la esta-

ción Maringá se eligieron las situaciones de helada, debiéndose cumplir para ello que la temperatura de la hora 12 UTC en el abrigo meteorológico sea inferior a 6°C. En un segundo análisis fueron descartados los días con temperaturas levemente inferiores a 6°C, nubosidad baja abundante (superior a 3/8), viento no calmo (mayor a 5 nudos) y humedad relativa elevada (superior a 80%), restringiendo de esta forma el estudio a casos de heladas radiativas.

### 2.1 Campos medios

Para los episodios de helada seleccionados (29 casos) se calcularon los campos medios de altura geopotencial (en los niveles de 1000 y 500 hPa) y de espesor 500/1000 hPa, utilizando los datos provenientes de los análisis del ECMWF. Estos promedios diarios se efectuaron desde cinco días antes y hasta tres días después de la ocurrencia de las heladas.

La Figura 2 muestra los campos medios de altura geopotencial y de espesor 500/1000 hPa dos días antes de los sucesos.

En el mapa medio de 1000 hPa puede observarse un anticiclón migratorio ubicado sobre el centro de Argentina, que penetra generalmente desde el sudoeste del continente ligado al avance de una zona frontal, cuya posición media aproximada se esquematiza en la Figura 2a.

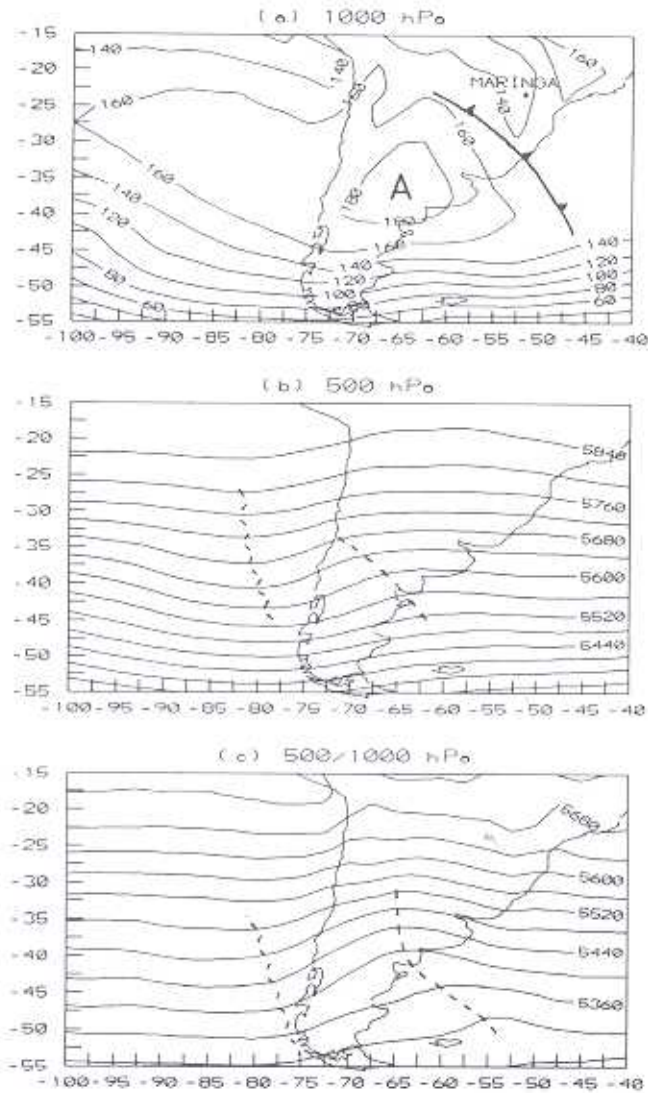
El campo de 500 hPa (Fig. 2b) presenta un flujo con una marcada corriente del SO cerca de las costas chilenas y un eje de vaguada sobre el centro del continente. El mapa de espesor (Fig. 2c) muestra un núcleo frío al este de la Patagonia (sur de Argentina) y una franja de mayor baroclinicidad ubicada entre los 25 y 37,5°S, relacionada con la posición frontal.

La Figura 3a permite apreciar que 24 horas más tarde la posición media de los frentes fríos está próxima a Maringá y que el anticiclón en superficie se ha desplazado hacia el norte alcanzando, en promedio, presiones superiores a 1025 hPa sobre los (30°S, 62,5°O). Este sistema provoca un sostenido flujo del sur sobre la zona de estudio y, debido a la advección de aire frío, un marcado descenso de temperatura.

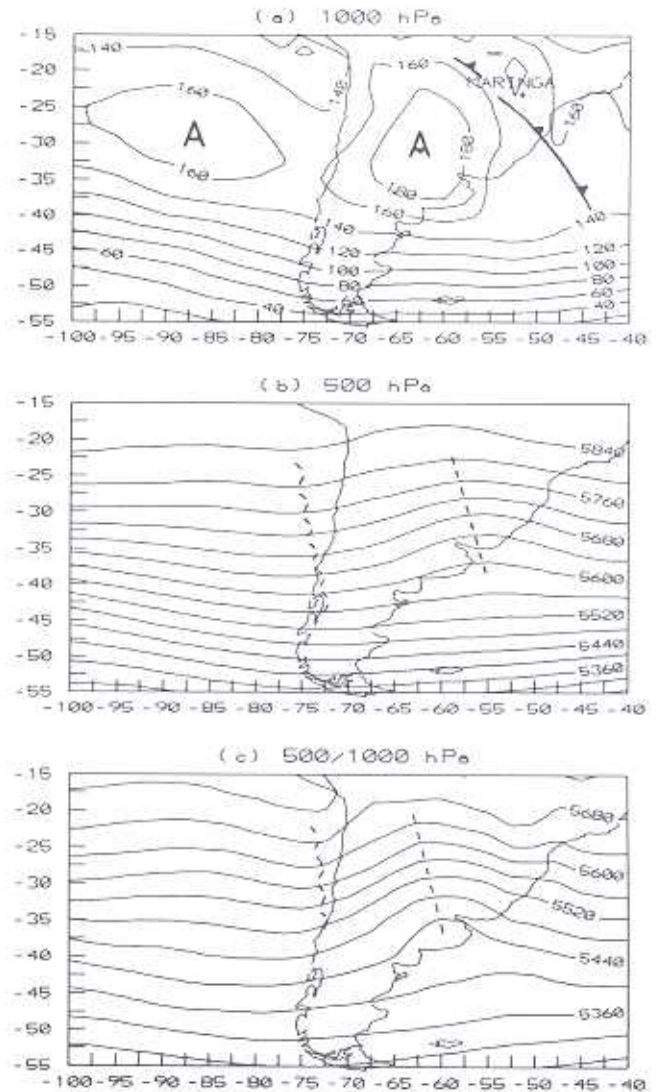
Los mapas de 500 hPa y espesor 500/1000 hPa (Figs. 3a y 3b) muestran la intensificación de la vaguada en la tropósfera media, al norte de 35°S, y el desplazamiento hacia el norte de la zona más baroclínica que ocupa ahora una franja entre 22,5 y 32,5°S.

Durante el día de los eventos (Fig. 4) el anticiclón migratorio alcanza, en general, su posición más cercana a Maringá (27,5°S y 60°O aproximadamente) favoreciendo la escasez de nubosidad sobre esta zona. Este sistema presenta una intensidad menor respecto de la víspera, debido entre otros factores a la menor advección de vorticidad anticiclónica en 500 hPa (Fig. 4b) y al probable calentamiento a través de la superficie terrestre (Petters-





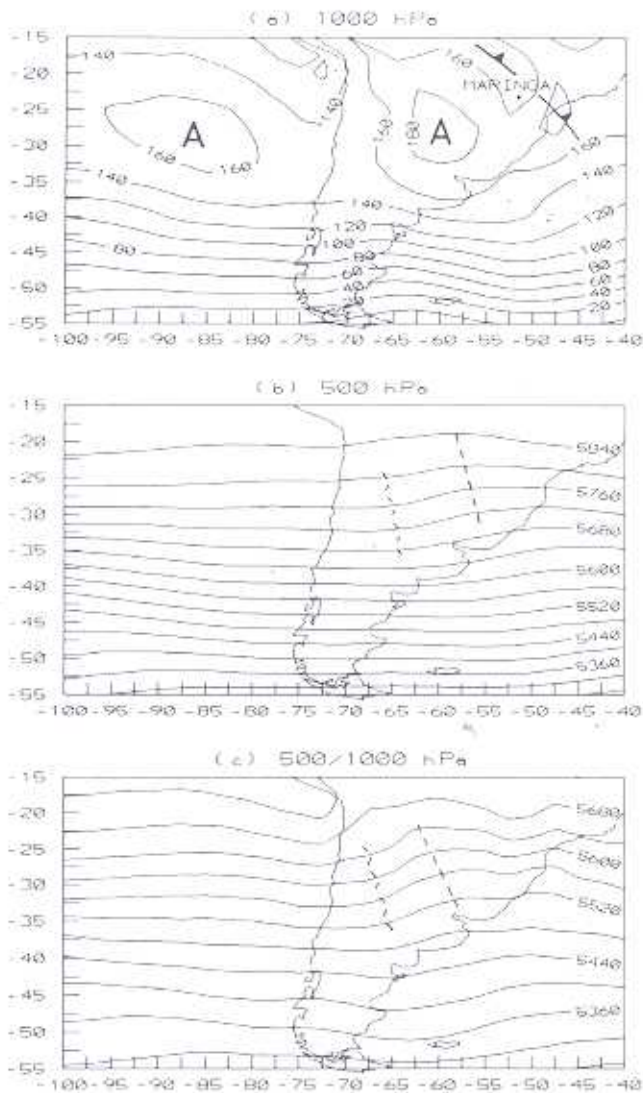
**Figura 2.** Campos medios de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes a 48 horas antes de la ocurrencia de heladas en Maringá. Las isólineas están expresadas en metros geopotenciales y los símbolos esquematizan la posición media aproximada de los frentes, vaguadas y cuñas.



**Figura 3.** Campos medios de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes a 24 horas antes de la ocurrencia de heladas en Maringá.

sen, 1956), lo que favorece la disminución del viento y, por lo tanto, la ocurrencia de heladas por radiación.

En los días subsiguientes (figuras no mostradas) este anticiclón continúa decayendo a medida que se traslada hacia el este, siendo asimilado por el anticiclón subtropical del Atlántico (Dallavalle y Bosart, 1975).



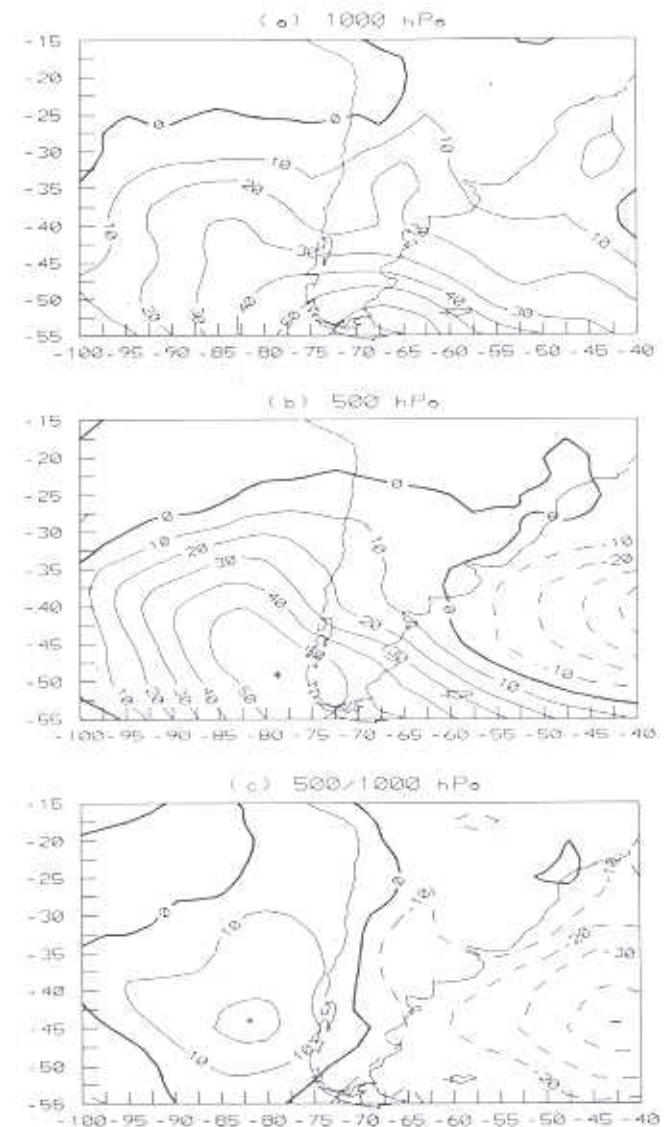
**Figura 4.** Campos medios de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes al día de la ocurrencia de heladas en Maringá.

## 2.2 Anomalías

Con el objeto de profundizar el estudio de las condiciones sinópticas asociadas a la ocurrencia de heladas

en el sur de Brasil, se obtuvieron las anomalías medias de altura geopotencial (en los niveles de 1000 y 500 hPa) y de espesor 500/1000 hPa, calculadas con respecto al período mayo-octubre de los años 1980 a 1988.

La Figura 5 muestra que cinco días antes de los sucesos existe un bajo índice de circulación zonal en el nivel de 1000 hPa (circulación del oeste anormalmente baja) y una anomalía positiva semiestacionaria en 500 hPa, centrada aproximadamente sobre los 47.5°S y 77.5°O, que



**Figura 5.** Campos medios de anomalías de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes a cinco días antes de la ocurrencia de heladas en Maringá. Los valores negativos (en mgp) están representados por líneas punteadas y los positivos por líneas llenas.

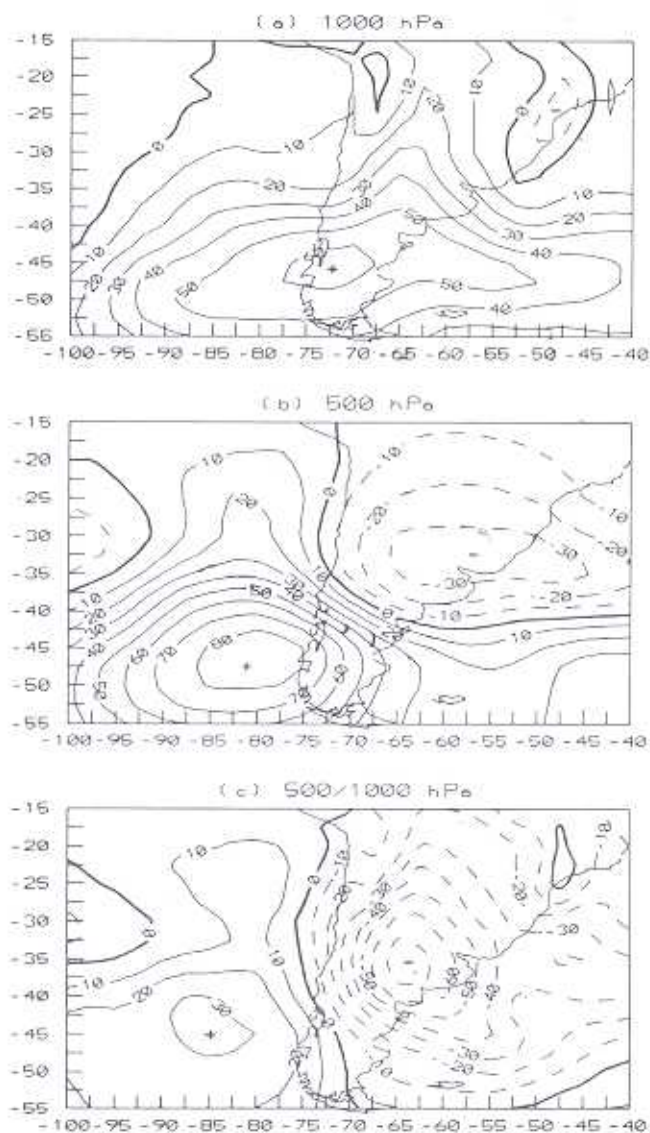


determina una configuración de espesores con anomalías cálidas sobre el oeste del continente y más frías sobre el Océano Atlántico.

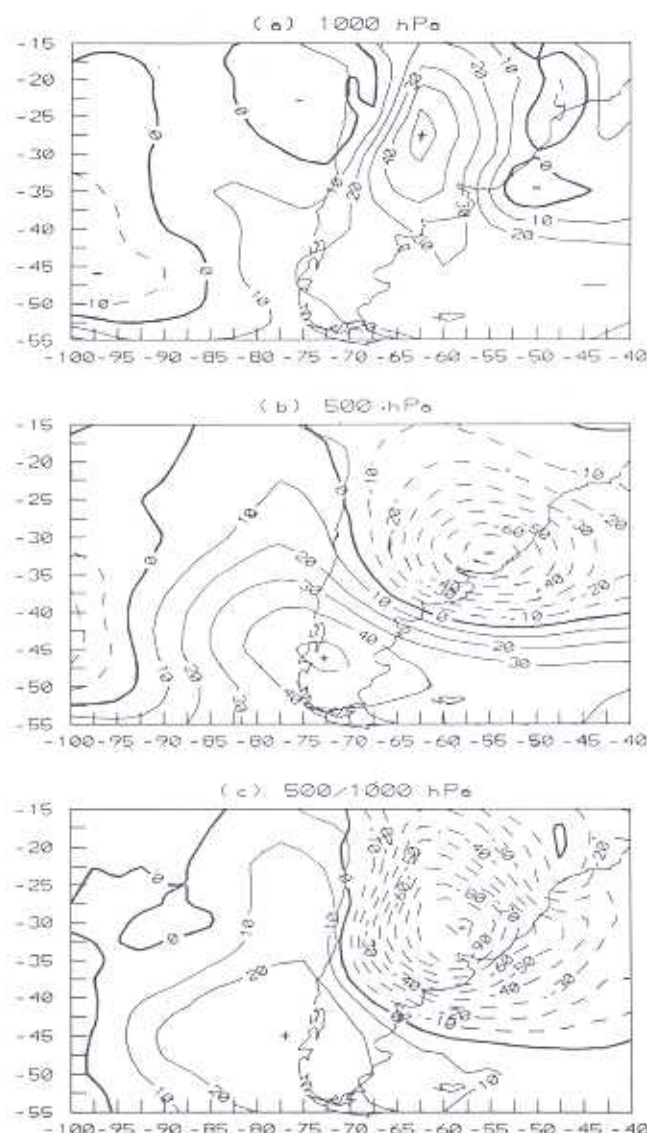
Dos días antes de la ocurrencia de las heladas (Fig. 6a) se aprecia la entrada de una perturbación anticiclónica sobre la Patagonia, que se extiende hacia el norte bordeando la falda oriental de la Cordillera de los Andes. Se destaca además la aparición de anomalías negativas de altura sobre el Golfo de Santa Catarina relacionadas posiblemente con la ocurrencia de ciclogénesis en esa región (también halladas por Hamilton y Tarifa, 1978 y Fortune y Kousky, 1983). Estos desarrollos ciclónicos se producirían en conexión con la entrada de aire frío desde

el sur, la presencia de la corriente cálida del Brasil (lo que favorece un buen contraste térmico a través de la zona frontal) y la advección de vorticidad ciclónica evidenciada a través de las anomalías negativas de geopotencial en la tropósfera media (Fig. 6b) (Sutcliffe, 1939; Petterssen, 1956).

El día previo a las heladas (Fig. 7a) se destaca el rápido desplazamiento hacia el norte de las anomalías positivas de geopotencial, siguiendo una trayectoria marcadamente meridional (en concordancia con Hamilton y Tarifa, 1978) lo que provoca un brusco enfriamiento sobre la región continental, como puede verificarse a partir del campo de espesor (Fig. 7c). Este sistema se halla in-



**Figura 6.** Campos medios de anomalías de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes a dos días antes de la ocurrencia de heladas en Maringá.

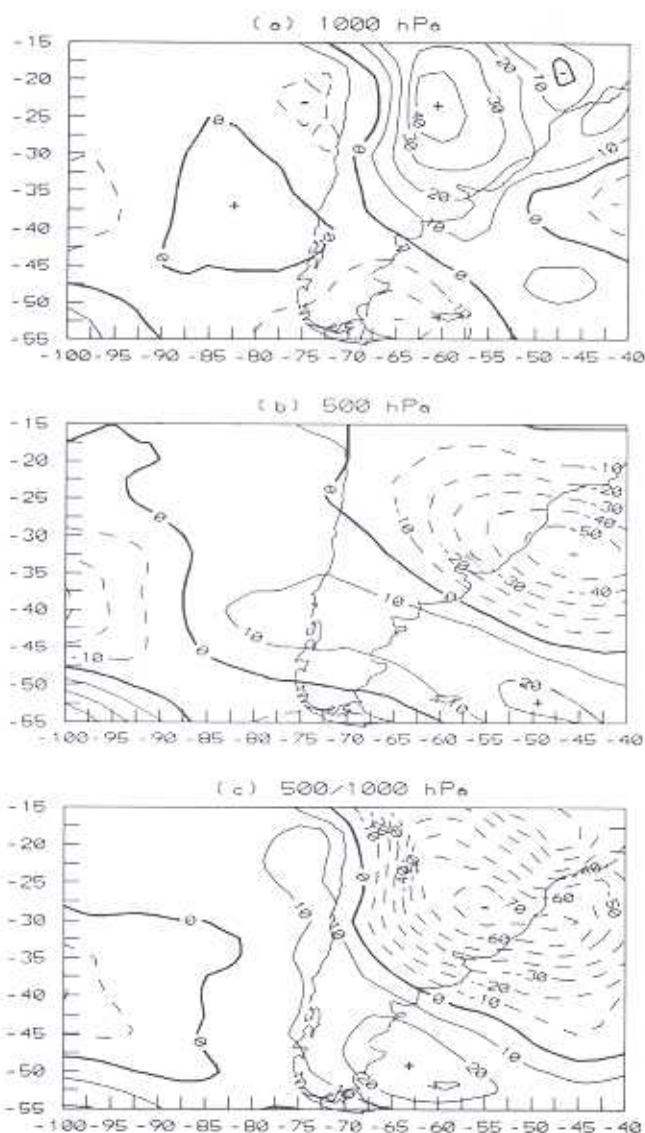


**Figura 7.** Campos medios de anomalías de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes al día previo a la ocurrencia de heladas en Maringá.



tensificado respecto de la víspera (Satyamurty y otros, 1990) debido, en parte, a que el aire que circula hacia el oeste en el norte del anticiclón se ve impedido de cruzar la Cordillera de los Andes, por lo que se acumula en su falda oriental contribuyendo a su intensificación (Lichtenstein, 1989). Este efecto resulta coherente con la presencia de un importante gradiente de anomalías de geopotencial sobre la cordillera y con la aparición de anomalías negativas sobre las costas del norte chileno.

Es posible también que el aumento en el valor de las anomalías pueda estar influenciado por una menor dispersión en la posición de los sistemas.



**Figura 8.** Campos medios de anomalías de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes al día de la ocurrencia de heladas en Maringá.

El mapa de 500 hPa (Fig. 7b) evidencia la profundización de la vaguada sobre latitudes subtropicales y la disminución de las anomalías positivas sobre el sur del continente.

Las anomalías de espesor (Fig. 7c) revelan que la temperatura media de la capa atmosférica comprendida entre 500 y 1000 hPa, se halla hasta 5°C por debajo del valor promedio.

La Figura 8 presenta las anomalías medias correspondientes al día de las heladas. Se aprecia en ella que el centro anómalo positivo en el nivel de 1000 hPa alcanzó su latitud más baja (23°S aproximadamente), mientras que el núcleo de anomalías negativas sobre la costa brasileña se ha desplazado hacia el sudeste.

El campo de espesor (Fig. 8c) permite observar que el mayor enfriamiento sobre el continente tiene lugar en el sur de Brasil.

### 2.3 Análisis de los radiosondeos de Resistencia y Córdoba

Utilizando los radiosondeos de Resistencia y Córdoba se analizaron las marchas temporales de altura geopotencial, temperatura, temperatura de rocío y humedad relativa, dentro de los cinco días anteriores y posteriores a la ocurrencia de heladas en Maringá. Este cálculo se llevó a cabo en todos los niveles estándar de presión hasta 100 hPa, para el período mayo-octubre de los años 1980 a 1984.

La Figura 9 muestra las marchas de las anomalías (calculadas con respecto del período 1958-1984) de las variables estudiadas para la estación Resistencia, en tres niveles atmosféricos diferentes (representativos de la tropósfera baja, media y alta).

Desde cinco días antes de los eventos se observa un paulatino descenso de altura en los niveles medios y altos de la tropósfera, como consecuencia del acercamiento de una vaguada asociada a un intenso frente frío, tal como lo demuestra el marcado descenso de temperatura y humedad en niveles bajos. Esta vaguada de gran amplitud puede vincularse con la aparición de ciclogénesis en la baja tropósfera sobre la costa atlántica.

El defasaje de tiempo con que se producen los máximos de altura en los distintos niveles de la tropósfera, evidencia que estos sistemas son de carácter baroclínico migratorio.

A partir de todas las variables analizadas se infiere que el anticiclón pasa por Resistencia a lo sumo 24 horas antes de la ocurrencia de las heladas en Maringá.

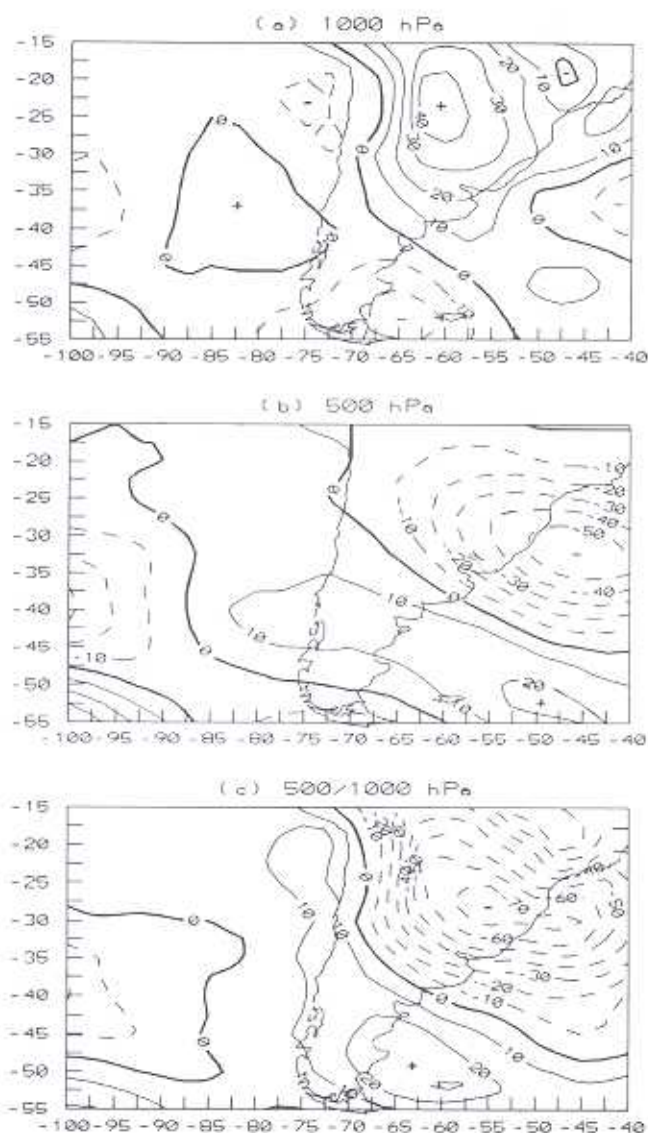
La magnitud de las anomalías halladas indica que, en promedio, los anticiclones que tienen lugar en Resistencia antes de la aparición de heladas en el sur de Brasil son de carácter intenso (Seluchi y otros, 1992).

Las marchas correspondientes a Córdoba muestran



tensificado respecto de la víspera (Satyamurty y otros, 1990) debido, en parte, a que el aire que circula hacia el oeste en el norte del anticiclón se ve impedido de cruzar la Cordillera de los Andes, por lo que se acumula en su falda oriental contribuyendo a su intensificación (Lichtenstein, 1989). Este efecto resulta coherente con la presencia de un importante gradiente de anomalías de geopotencial sobre la cordillera y con la aparición de anomalías negativas sobre las costas del norte chileno.

Es posible también que el aumento en el valor de las anomalías pueda estar influenciado por una menor dispersión en la posición de los sistemas.



**Figura 8.** Campos medios de anomalías de altura geopotencial (en los niveles de (a) 1000 hPa y (b) 500 hPa) y de (c) espesor 500/1000 hPa correspondientes al día de la ocurrencia de heladas en Maringá.

El mapa de 500 hPa (Fig. 7b) evidencia la profundización de la vaguada sobre latitudes subtropicales y la disminución de las anomalías positivas sobre el sur del continente.

Las anomalías de espesor (Fig. 7c) revelan que la temperatura media de la capa atmosférica comprendida entre 500 y 1000 hPa, se halla hasta 5°C por debajo del valor promedio.

La Figura 8 presenta las anomalías medias correspondientes al día de las heladas. Se aprecia en ella que el centro anómalo positivo en el nivel de 1000 hPa alcanzó su latitud más baja (23°S aproximadamente), mientras que el núcleo de anomalías negativas sobre la costa brasileña se ha desplazado hacia el sudeste.

El campo de espesor (Fig. 8c) permite observar que el mayor enfriamiento sobre el continente tiene lugar en el sur de Brasil.

### 2.3 Análisis de los radiosondeos de Resistencia y Córdoba

Utilizando los radiosondeos de Resistencia y Córdoba se analizaron las marchas temporales de altura geopotencial, temperatura, temperatura de rocío y humedad relativa, dentro de los cinco días anteriores y posteriores a la ocurrencia de heladas en Maringá. Este cálculo se llevó a cabo en todos los niveles estándar de presión hasta 100 hPa, para el período mayo-octubre de los años 1980 a 1984.

La Figura 9 muestra las marchas de las anomalías (calculadas con respecto del período 1958-1984) de las variables estudiadas para la estación Resistencia, en tres niveles atmosféricos diferentes (representativos de la tropósfera baja, media y alta).

Desde cinco días antes de los eventos se observa un paulatino descenso de altura en los niveles medios y altos de la tropósfera, como consecuencia del acercamiento de una vaguada asociada a un intenso frente frío, tal como lo demuestra el marcado descenso de temperatura y humedad en niveles bajos. Esta vaguada de gran amplitud puede vincularse con la aparición de ciclogénesis en la baja tropósfera sobre la costa atlántica.

El defasaje de tiempo con que se producen los máximos de altura en los distintos niveles de la tropósfera, evidencia que estos sistemas son de carácter baroclínico migratorio.

A partir de todas las variables analizadas se infiere que el anticiclón pasa por Resistencia a lo sumo 24 horas antes de la ocurrencia de las heladas en Maringá.

La magnitud de las anomalías halladas indica que, en promedio, los anticiclones que tienen lugar en Resistencia antes de la aparición de heladas en el sur de Brasil son de carácter intenso (Seluchi y otros, 1992).

Las marchas correspondientes a Córdoba muestran

características muy similares a las anteriores, aunque la magnitud de la anomalías resulta menor y los sistemas involucrados inciden sobre esta estación aproximadamente 24 horas antes que en Resistencia. Este hecho resulta concordante con la intensificación que sufre el anticiclón durante su desplazamiento, debido a efectos orográficos.

**3. METODOS DE PRONOSTICO**

Con el fin de desarrollar métodos objetivos de predicción para la ocurrencia de heladas se utilizó el Análisis Discriminante Multivariado (ADM), técnica que permite discriminar la pertenencia de un evento entre distintos grupos, y que resulta especialmente apta para pronosticar elementos no numéricos.

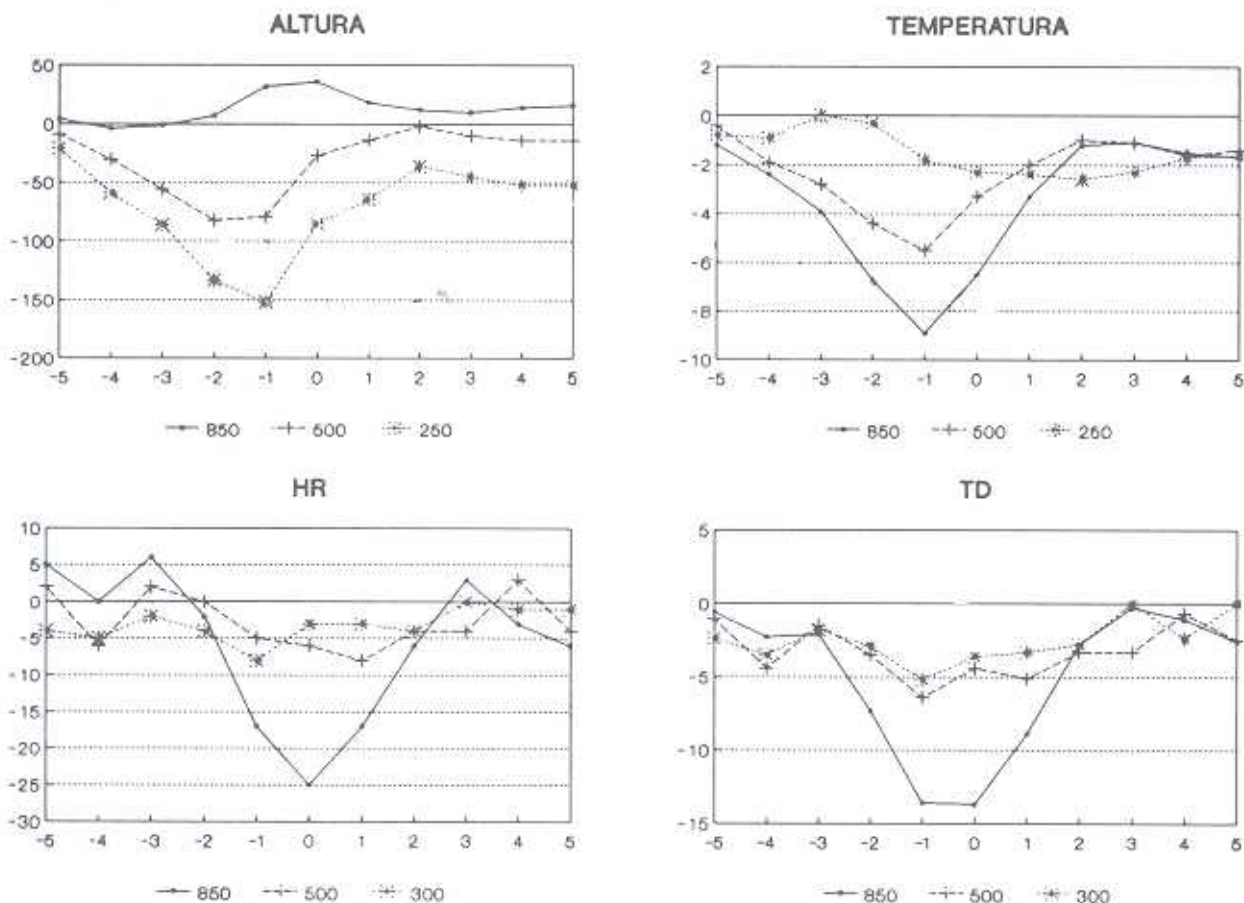
La discriminación se realiza a través de rectas de regresión múltiple con el fin de relacionar al predictando

(la ocurrencia de heladas) con distintas variables predictoras. Existen tantas funciones discriminantes (o de clasificación) como grupos entre los cuales se quiera efectuar la discriminación, donde la separación (grado de discriminación) explicada por cada recta está dada por la expresión:

$$(A - \tau W) k = 0$$

donde A representa la matriz de covarianza entre grupos, W la matriz de covarianza dentro de los grupos,  $\tau$  los autovalores y k el autovector.

La elección de las variables que mejor discriminan la muestra se efectúa a través de los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes, maximizando de esta forma la separación entre los distintos grupos del predictando. Un dado suceso tendrá, en consecuencia, un puntaje de clasificación para cada grupo y pertenecerá a aquel que presente el mayor puntaje. Un análisis más detallado puede encontrarse, por ejemplo, en Green



**Figura 9.** Anomalías medias de altura geopotencial (mgs), temperatura (°C), humedad relativa (%), y temperatura de rocío (°C) en la estación Resistencia, durante la ocurrencia de heladas en Maringá. El día cero corresponde a la ocurrencia de heladas en Maringá, las abscisas negativas indican días previos y las positivas días posteriores.



(1978) o en Der-Meriditchian (1980).

El ADM ha sido utilizado anteriormente con éxito para pronosticar la ocurrencia de viento zonda en la región de Cuyo (Argentina) (Norte, 1988), la aparición de ciclones en el Litoral Argentino (Seluchi y Lichtenstein, 1992b) y la presencia de heladas (a corto plazo) en la región de Maringá (Nery et alii, 1991), entre muchas otras aplicaciones.

Cada uno de los días del período mayo-octubre (1980/1988) fue clasificado teniendo en cuenta los grupos: "helada mañana" (grupo 1), "helada pasado mañana" (grupo 2) y "no helada" (grupo 3). Considerando los resultados hallados a partir de los campos medios analizados, se eligieron diferencias de geopotencial y espesor entre diferentes puntos, pseudo-laplacianos, índices de circulación, valores en puntos de grilla, etc., para ser utilizados como predictores por el ADM. La nómina completa de predictores empleados se detalla en el Apéndice.

La Tabla 1 muestra la matriz de clasificación alcanzada. Se observa en ella que, con 24 horas de anticipación (grupo real 1), de las 29 heladas ocurridas se han pronosticado correctamente 27, mientras que una ocurrió un día después de lo pronosticado y 7 no fueron detectadas por el método. Con 48 horas de antelación (grupo 2) se predijo acertadamente 19 de las 27 situaciones, pronosticando 3 dentro del grupo 1 (24 horas antes de lo ocurrido) y 5 en el grupo 3. De las 1105 situaciones que no condujeron a heladas el 63% de ellas fue pronosticado correctamente, el 20% fue clasificado como "helada pasado mañana" y el 17% como "helada mañana".

Los predictores que resultaron significativos se muestran en la parte inferior de la Tabla 1, donde P1 corresponde a un índice de circulación zonal en el nivel de 1000 hPa, P2 y P3 determinan la ubicación e intensidad de los sistemas en el nivel de 500 hPa (ver Figs. 6b y 7b) y P4 el enfriamiento producido sobre la región continental (ver Fig. 7c).

Dado que los resultados obtenidos no fueron enteramente satisfactorios (debido principalmente al elevado número de falsas alarmas), se realizó un nuevo intento considerando al grupo 1 como "helada mañana o pasado" y como grupo 2 a los casos de "no helada". La matriz de clasificación y los predictores resultantes fueron prácticamente similares a los mostrados en la Tabla 1.

Con el propósito de mejorar el método de pronóstico anterior se utilizó la información de los radiosondeos de Resistencia, Córdoba y Neuquén; consistentes en datos de temperatura (TEMP), altura geopotencial (ALT), temperatura de rocío (TD), humedad relativa (HR), dirección de viento (DD) y velocidad (FF) en los niveles de superficie (SUP), 1000, 850, 800, 700, 600 y 500 hPa.

La Tabla 2 muestra la discriminación alcanzada a partir de los sondeos de Resistencia y los predictores que resultaron significativos.

Como puede observarse estos resultados mejoran

la clasificación anterior debido, seguramente, a la posibilidad de utilizar nuevas variables (como temperatura, humedad y viento) en varios niveles de la tropósfera.

Los predictores seleccionados por el ADM tienen en cuenta la magnitud de la inversión térmica del anticiclón (a partir del perfil de temperatura), la intensidad del sistema en superficie y la importancia de la advección de temperatura (a través de la dirección y velocidad del viento).

La Tabla 3 permite apreciar que con sólo dos grupos de clasificación ("helada mañana o pasado" y "no helada") el pronóstico no mejora sustancialmente, pero se obtiene un número inferior de falsas alarmas. En este caso los predictores que resultaron significativos evalúan el perfil térmico, la humedad en superficie y la velocidad del viento en la tropósfera media.

Un cálculo similar fue realizado con los radiosondeos de Córdoba, hallándose matrices de clasificación muy semejantes a las obtenidas para Resistencia (los porcentajes difieren solamente en el grupo 3, donde existe un 4% más de falsas alarmas). Los predictores que resultaron significativos fueron también muy similares a los de Resistencia.

Los cálculos realizados con el sondeo de Neuquén no permitieron mejorar los resultados anteriores.

#### 4. CONCLUSIONES

Las heladas en la región sur de Brasil se vinculan a incursiones de intensos frentes fríos que dan lugar a la entrada de anticiclones migratorios muy fuertes desde el sur de Argentina. Estos sistemas tienen un rápido desplazamiento siguiendo una trayectoria marcadamente meridional, a lo largo de la cual se intensifican debido, entre otros factores, a la presencia de la Cordillera de los Andes.

El campo en 500 hPa muestra una cuña de gran amplitud que, debido a los fuertes vientos del SO, conduce rápidamente a los sistemas hacia el norte.

El campo de espesor 500/1000 hPa presenta una región de mayor baroclinicidad, asociada a una zona frontal, que pasa por la región de estudio 24 a 48 horas antes de la ocurrencia de las heladas.

Durante el día del evento el anticiclón alcanza su latitud más baja. La escasa nubosidad, producto de la subsidencia del sistema anticiclónico, junto con la disminución de la velocidad del viento generan condiciones propicias para la ocurrencia de heladas.

Los radiosondeos de Córdoba y Resistencia confirman la incursión de un anticiclón continental de gran intensidad, que provoca un brusco descenso de temperatura y humedad sobre estas estaciones.

Con el fin de desarrollar métodos objetivos de pronóstico se utilizó el Análisis Discriminante Multivariado,

empleando como predictores información en puntos de reticulado y datos provenientes de radiosondeos. De todos los intentos realizados los radiosondeos de Resistencia permiten formular un pronóstico de mayor exactitud, con un grado de acierto cercano al 90%, para una antelación de 48 horas. Esto se debe seguramente a que el anticiclón responsable de las heladas experimental su mayor

intensidad sobre estas latitudes.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración del Dr. Erich R. Lichtenstein, de la Dra. Susana A. Bischoff y del Lic. Saúl M. Brynsztein.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DALLAVALLE, J.P. & BOSART, L.F., 1975. A synoptic investigation of anticyclonogenesis accompanying North American polar air outbreaks. *Mon. Wea. Rev.*, **13**(11): 941-957.
- DER-MEREDITCHIAN, G., 1980. Application of the Discriminant Analysis in Meteorology. *Statistical Climatology*. Elsevier, Amsterdam, 241 pp.
- FORTUNE, M.A. & KOUSKY, V.E., 1983. Two severe freezes in Brazil: precursors and synoptic evolution. *Mon. Wea. Rev.*, **111**: 181-196.
- GREEN, P.E., 1978. Analyzing multivariate data. The Dryden Press, Illinois, USA.
- HAMILTON, G.M. & TARIFA, R.J., 1978. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July 1972. *Mon. Wea. Rev.*, **106**: 1545-1556.
- HOFFMANN, J.A., 1971. Frentes, masas de aire y precipitaciones en el norte argentino". *Meteorológica*, **2**(1,2,3): 130-149.
- LICHTENSTEIN, E.R., 1989. Some influences of the Andes Cordillera on the synoptic scale circulation. III Conf. Int. Met. y Oc. del H.S., preprint, 146-148.
- NERY, J.T.; SELUCHI, M.E. & BRYNSZTEIN, S.M., 1991. Modelo de pronóstico estadístico de heladas para la región de Maringá. *Congremet VI, Resúmenes extendidos*, 41-43.
- NORTE, F.A., 1988. Características del viento zonda en la región de Cuyo. Tesis Doctoral, U.B.A.
- PETTERSEN, S., 1956. *Weather analysis and forecasting*. McGraw Hill.
- SATYAMURTY, P.; ETCHICHURY, P.C.; STUDZINSKI, C.; CALBETE, N.O.; LOPES R.R.; GRAMMELSBACHER, I.A.; & GRAMMELSBACHER, E.A., 1990. A primeira friagem de 1990: uma descrição sinótica. *Climanálise*, **5**(5): 43-51.
- SELUCHI, M.E. & LICHTENSTEIN, E.R., 1992a. Campos medios asociados a sistemas ciclónicos y anticiclónicos sobre la Argentina. *GEOACTA*, **19**: 125-136.
- SELUCHI, M.E. & LICHTENSTEIN, E.R., 1992b. Estudio sobre desarrollos ciclónicos en el litoral Argentino. *Memoria Encuentro Meteo 92*, 243-247.
- SELUCHI, M.E.; BISCHOFF, S.A. & LICHTENSTEIN, E.R., 1992. Características de los sistemas sinópticos migratorios que afectan a la República Argentina. 17<sup>o</sup> Reunión Científica de la AAGG, resumen, 75 pp.
- SUTCLIFFE, R.C., 1939. Cyclonic and anticyclonic development. *Quat. Jou. Roy. Met. Soc.*, **65**: 518-524.



## APÉNDICE

Lista completa de variables, calculadas a partir de los campos del ECMWF, utilizadas como predictores por el ADM para el pronóstico de heladas en Maringá.

La coordenada "x" de los puntos indica latitud sur ( $^{\circ}$ ) y la coordenada "y" longitud oeste.  $h_1$  representa la altura geopotencial del nivel de 1000 hPa,  $h_5$  la altura del nivel de 500 hPa y H el espesor 500/1000 hPa.

$h_1$  (27.5, 65)  
 $h_1$  (32.5, 50)  
 $h_1$  (35, 65)  
 $h_1$  (47.5, 72.5)  
 $h_1$  (27.5, 62.5)  
 $h_1$  (25, 77.5) -  $h_1$  (52.5, 72.5)  
 $h_1$  (32.5, 52.5) -  $h_1$  (45, 60)  
 $h_1$  25, 52.5) -  $h_1$  (32.5, 65) -  
 $h_1$  (22.5, 47.5) -  $h_1$  (27.5, 62.5)  
 $h_1$  (32.5, 50) -  $h_1$  32.5, 67.5)  
 $h_1$  (25, 47.5) +  $h_1$  (27.5, 75) - 2 \*  $h_1$  (27.5, 62.5)

$h_5$  (47.5, 80)  
 $h_5$  (32.5, 80)  
 $h_5$  (32.5, 60)  
 $h_5$  (47.5, 72.5)  
 $h_5$  (27.5, 65)  
 $h_5$  (32.5, 60) -  $h_5$  (47.5, 80)  
 $h_5$  (35, 65) -  $h_5$  (45, 77.5)  
 $h_5$  (32.5, 55) -  $h_5$  (45, 75)  
 $h_5$  (32.5, 55) -  $h_5$  (22.5, 50)

H (37.5, 65)  
 H (45, 80)  
 H (32.5, 60)  
 H (47.5, 72.5)  
 H (37.5, 65) - H (45, 50)  
 H (32.5, 57.5) - H (45, 72.5)  
 H (35, 57.5) - H (22.5, 50)

**Tabla 1.** Matriz de clasificación y predictores obtenidos para el pronóstico de heladas, a partir de los datos del ECMWF correspondientes al período mayo-octubre 1980/1988.  $h_1$  y  $h_5$  representan la altura geopotencial de los niveles de 1000 y 500 hPa respectivamente, y H el espesor 500/1000 hPa.

Grupo Real	Grupo Predecido			Total
	1	2	3	
1	21 (72%)	1 (4%)	7 (24%)	29
2	3 (11%)	19 (70%)	5 (19%)	27
3	193 (17%)	219 (20%)	693 (63%)	1105

PREDICTORES

P1 =  $h_1$  (32.5°S, 50°O) -  $h_1$  (32.5°S, 67.5°O)

P2 =  $h_5$  (32.5°S, 55°O) -  $h_5$  (45°S, 75°O)

P3 =  $h_5$  (27.5°S, 65°O)

P4 = H (32.5°S, 57.5°O) - H (45°O, 72.5°O)

**Tabla 2.** Matriz de clasificación y predictores obtenidos para el pronóstico de heladas, a partir de los radiosondeos de Resistencia correspondientes al período mayo-octubre 1980/1984.

Grupo Real	Grupo Predecido			Total	Predictores
	1	2	3		
1	14 (93%)	1 (7%)	0 (0%)	15	TEMP 850 TEMP 700 ALT SUP ALT 600
2	2 (15%)	10 (77%)	1 (8%)	13	DD 1000 DD SUP
3	34 (7%)	79 (15%)	408 (78%)	521	FF 800

**Tabla 3.** Matriz de clasificación y predictores obtenidos para el pronóstico de heladas, a partir de los radiosondeos de Resistencia utilizando dos grupos de clasificación.

Grupo Real	Grupo Predecido		Total	Predictores
	1	2		
1	25 (89%)	3 (11%)	26	TEMP 900 TEMP 850 TEMP 700 TD SUP
2	81 (16%)	440 (84%)	521	FF 600