

HORAS CON HELADA Y SU PELIGROSIDAD EN SEIS LOCALIDADES DE LA ARGENTINA*

MARÍA E. FERNÁNDEZ LONG¹; IRENE E. BARNATÁN^{1,2}
y YANINA GARCÍA SKABAR^{3,4}

Recibido: 10/11/04

Aceptado: 27/12/04

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el análisis de la duración y peligrosidad de las heladas en diferentes localidades de la Argentina, dada la importancia de los daños que las heladas provocan en la agricultura. Para su caracterización se utilizaron datos de temperatura horaria para dos décadas diferentes. En primer lugar se describe la duración media y su variabilidad, horas de comienzo y finalización así como la peligrosidad para el período 1994-2003. Luego se realizó un análisis temporal mediante la comparación con los resultados obtenidos para el período 1976-1985. La peligrosidad se evaluó mediante la modificación del índice de heladas *Frost Index* (FIM). Los resultados indicaron que la duración media es de alrededor de 4.4 horas, excepto en Comodoro Rivadavia. El FIM medio para Ezeiza y Rosario resultaron menores a los esperados. En el análisis temporal se encontró una disminución significativa en la duración media de las heladas solamente para Rosario y el FIM presentó un aumento del riesgo en Resistencia y Mar del Plata en la última década y una disminución significativa en Ezeiza y Rosario.

Palabras clave. Heladas, duración, peligrosidad, análisis temporal.

FROST'S DURATION AND ITS RISK IN SIX ARGENTINE LOCATIONS

SUMMARY

The purpose of this paper is the analysis of frost's duration and range of risk in different cities of Argentine, since the frosts cause important damages in the agriculture. To characterize the frosts, hour temperature dates were used for different cities and periods of time (1976-1985; 1994-2003). The first part of the work is to describe the mean duration and variability, hours of starting and ending, and the dangerousness for the period 1994-2003. After that, a temporal analysis were realized, comparing the results of this period with 1976-1985. The dangerousness was evaluated as a modification of the Frost Index (FIM). The results indicated that the mean duration were 4.4 hours approximately, except in Comodoro Rivadavia. The mean FIM from Ezeiza and Rosario resulted lower than were expected. The temporal analysis shows a significant decrease in the average frost's duration only in Rosario. The FIM showed an increase of risk in the last period for Resistencia and Mar del Plata and a significant decrease for Ezeiza and Rosario.

Key words. Frosts, duration, risk, temporal analysis.

INTRODUCCIÓN

En diferentes trabajos se ha abordado la importancia de los daños que las heladas provocan en la agricultura, analizando las fechas de ocurrencia para la Argentina (Hirschhorn *et al.*, 1952-1958; Burgos, 1963; Damario y Pascale, 1994; Damario *et al.*, 1996; Pascale *et al.*, 1997; Fernández Long

et al., 2001), pero no se ha estudiado la duración ni las horas en que se producen.

Es sabido que el nivel de daño por frío depende no sólo de la fecha de ocurrencia del descenso térmico y de la temperatura a la que fue expuesta, sino también del tiempo de exposición sufrido por la planta. Mientras mayor sea la duración de la

*El resumen de este trabajo fue presentado en la X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología (Mar del Plata, Argentina: octubre 2004).

¹Facultad de Agronomía, UBA, Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina. flong@agro.uba.ar

²Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina. bamatan@agro.uba.ar

³Departamento de Ciencias de la Atmósfera, UBA. yanina@cima.fcen.uba.ar

exposición a temperaturas por debajo de un umbral determinado, mayor será el daño (Díaz Queraltó, 1971). Lindkvist y Chen (1999) resumieron en un índice simple el conjunto de estos factores, llamándolo Frost Index (FI), a partir del cual analizaron la peligrosidad de las heladas. Zinoni *et al.* (2002) caracterizaron una región frutihortícola de Italia a través del FI y analizaron la variabilidad temporal.

Dado que el conocimiento de las horas de ocurrencia de helada permite implementar un adecuado sistema de alerta y la planificación de los métodos de defensa, el objetivo de este trabajo fue estudiar la duración de las heladas, horas de ocurrencia y su peligrosidad para seis localidades ubicadas en una vasta región de la Argentina en el período 1994-2003 realizando además, un análisis temporal al comparar los resultados con los obtenidos para el período 1976-1985.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las series de temperatura horaria de las estaciones meteorológicas de Comodoro Rivadavia Aero, Ezeiza Aero, Córdoba Aero, Mar del Plata Aero, Resistencia Aero y Rosario Aero para el período 1994-2003 obtenidos a través del Servicio Meteorológico Nacional. Con el objetivo de comparar el comportamiento de las series analizadas con un período anterior para las mismas estaciones, se utilizaron las series de los años 1976-1985. Se analizó la ocurrencia de heladas para las 24 horas del día en todos los meses del año.

En el Cuadro N° 1 se presenta la información de la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas. Cabe destacar que para todas las estaciones analizadas los datos de temperatura horaria correspondientes a la década 1976-1985 están completos mientras que para el período 1994-2003 existen interrupciones, siendo la lo-

calidad de Comodoro Rivadavia la más incompleta con un 0.7% de datos faltantes. Se eligieron únicamente estas series de datos pues la disponibilidad de información horaria es escasa. Se descartó el análisis de otras localidades ya que las series poseían un gran número de datos horarios faltantes.

Se consideró helada a todos los casos en los que la temperatura horaria era igual o menor a cero grados, medida en el abrigo meteorológico a 1.5 metros del suelo. Al utilizar datos horarios, las heladas de duración menor a 1 hora escapan del análisis.

Se confeccionaron histogramas de frecuencia de heladas en cada hora, de horas de comienzo y fin de helada caracterizando las variables. Mediante el cálculo de la media, mediana, máximos y desviaciones estándar para ambas décadas, se analizó el comportamiento temporal. La significancia de las diferencias de los valores medios entre períodos se realizó con el test *t de Student*, y de las desviaciones estándar con el test de *Fisher*. Además, se realizaron histogramas de duración para intervalos de 2 a 24 horas para los dos períodos considerados con el propósito de comparar lo ocurrido con las frecuencias de baja y alta duración.

Para evaluar la peligrosidad de las heladas se utilizó el Frost Index (FI) obtenido a partir del trabajo de Lindkvist y Chen (1999). En el presente trabajo este índice fue modificado (FIM) debido a que al no tenerse en cuenta la fecha de ocurrencia, no se consideró el factor de corrección, que le asigna un valor de mayor peligrosidad a las heladas tempranas y tardías. El FIM se obtiene como la sumatoria anual del módulo de la temperatura menor a cero en las horas en que la temperatura

$$FIM = \sum_{i=1}^n |T^*|$$

Donde T^* es toda temperatura menor a cero grado centígrado y n es el número total de horas con temperatura inferiores a cero grados en el período considerado.

A través de este índice se caracterizó la peligrosidad de las heladas en las localidades estudiadas y se analizaron diferencias respecto al período 76-85 a través de gráficos de caja.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción período 1994-2003

En todas las estaciones el período anual de heladas se registró prácticamente entre los meses de mayo y octubre, habiéndose encontrado los casos más extremos entre abril y noviembre.

CUADRO N° 1. Ubicación de las estaciones.

Estación Meteorológica	Latitud	Longitud	Altura
Cro. Rivadavia Aero (CRV)	45°47'S	67°30'W	46 m
Mar del Plata Aero (MPL)	37°56'S	57°35'W	21 m
Ezeiza Aero (EZE)	34°49'S	58°32'W	20 m
Rosario Aero (ROS)	32°55'S	60°47'W	25 m
Córdoba Aero (COR)	31°19'S	64°13'W	474 m
Resistencia Aero (RES)	27°27'S	59°03'W	52 m

La Figura 1.d. correspondiente al histograma de frecuencia de heladas por hora en Ezeiza, muestra que la mayor frecuencia se produce entre las 5 y las 8 de la mañana, comenzando en algunos casos a las 23 horas y finalizando como máximo a las 9 horas. Este patrón de comportamiento se repite en el resto de las localidades, pero con mucha menor frecuencia en Resistencia (Figura 1.a). En Córdoba (Figura 1.b), Rosario (Figura 1.c) y sobre todo en Mar del

Plata (Figura 1.e), las heladas suelen comenzar antes y finalizar sólo un poco después. En Comodoro Rivadavia (Figura 1.f) se registraron heladas durante las 24 horas.

Las horas con heladas están fuertemente relacionadas con el balance de radiación, poniendo de manifiesto el predominio fundamental del factor radiativo en la formación de las mismas en la Argentina.

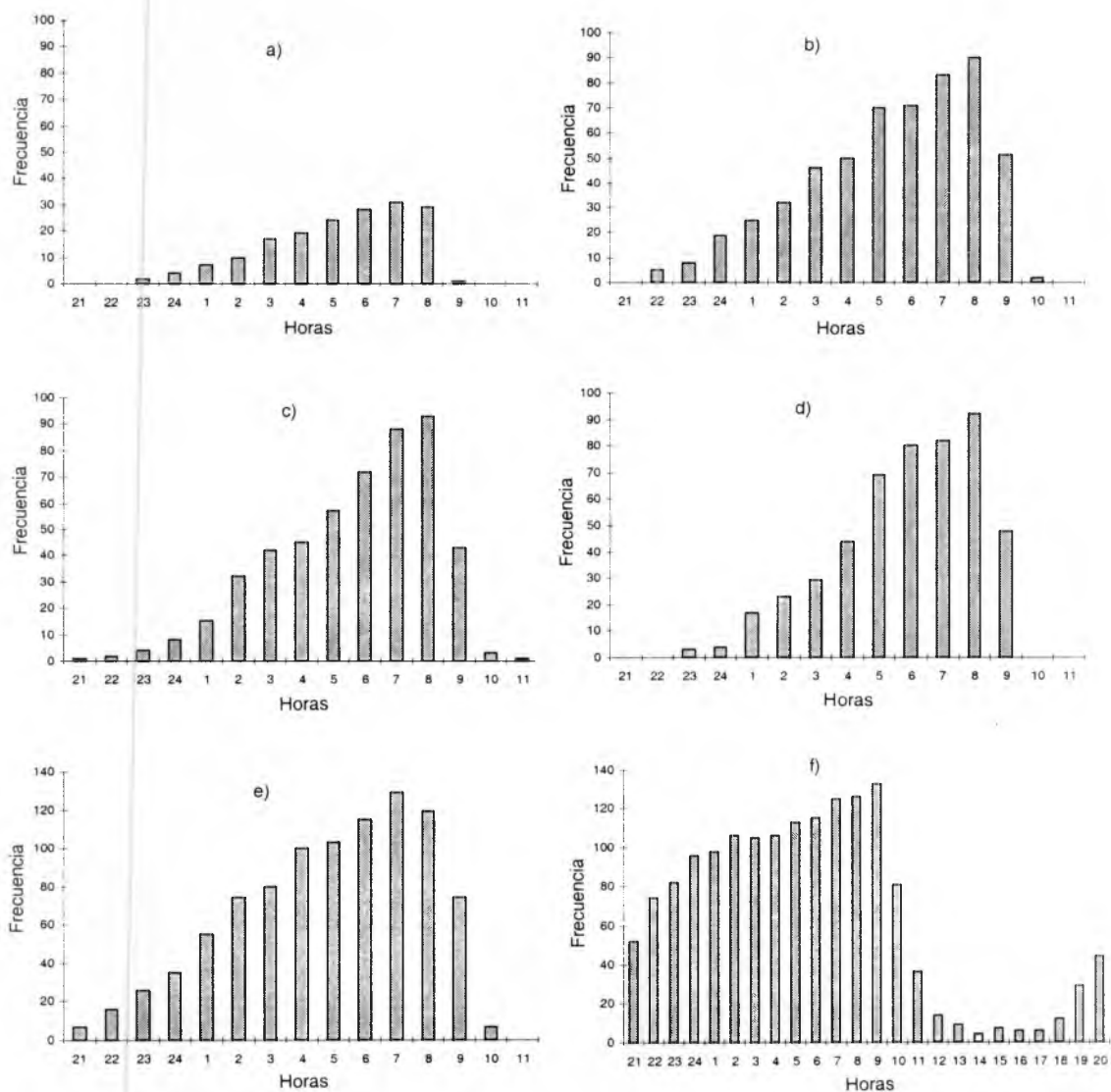


FIGURA 1. Histograma de frecuencias de heladas para cada hora, en la localidad de: Resistencia (a); Córdoba (b); Rosario (c); Ezeiza (d); Mar del Plata (e) y Comodoro Rivadavia (f).

En el Cuadro N° 2 se presentan los valores medios con su desviación estándar característicos de la duración, hora de inicio y finalización de las heladas. En el caso de la duración también se incluyen la mediana y los máximos. Las duraciones medias oscilan entre 4.2 y 4,7 horas y los máximos varían entre 10 y 14 horas en todas las localidades excepto en Comodoro Rivadavia donde la duración media es mucho mayor (7,1 horas) y los máximos alcanzan las 24 horas.

En Comodoro Rivadavia, todas las variables calculadas tuvieron una marcada diferencia respecto al resto de las localidades, debido a que se encuentra ubicada a una latitud mucho mayor (Cuadro N° 1). Cabe destacar que en esta estación se registran heladas de 24 horas de duración, situación favorecida por su cercanía al mar que provoca amplitudes térmicas menores, disminuyendo la posibilidad de un aumento de la temperatura máxima por encima de

cero grados, la cual provocaría la finalización de la helada.

Analizando la hora de comienzo de la helada se observa que en promedio empiezan a las 4 de la mañana, finalizando entre las 7 y las 8 horas en todas las localidades. A medida que aumenta la latitud, la hora media de finalización aumenta acompañando el retraso de la salida del sol.

La desviación estándar de la hora de finalización es mucho menor que la de comienzo, dado que el fin de la helada está fuertemente relacionado con la hora de salida del sol. Para ejemplificar se presentan los histogramas, tanto para la hora de comienzo como para la de finalización correspondientes a la localidad de Córdoba (Figura 2 a y b), donde se observa este comportamiento, que se repite en el resto de las localidades.

Mar del Plata presenta una mayor variabilidad en la hora de finalización. Esto puede deberse a que

CUADRO N° 2. Parámetros estadísticos de la duración, horas de comienzo y finalización de heladas para las localidades analizadas en el período 1994-2003.

94-03		RES	COR	ROS	EZE	MPL	CRV
Duración (horas)	Media	4,4	4,7	4,2	4,2	4,4	7,1
	Mediana	4	3	3	4	3	6
	Máx.	11	12	13	10	14	24
	Desv.	2,54	3,43	2,88	2,73	3,32	5,75
Horas de comienzo	Media	4,2	4,1	4,3	4,4	3,3	2,1
	Desv.	2,53	2,96	2,64	2,43	3,22	4,92
Horas de fin	Media	7,6	7,9	7,9	8,0	7,3	9,9
	Desv.	0,84	1,49	1,65	1,38	2,32	6,00

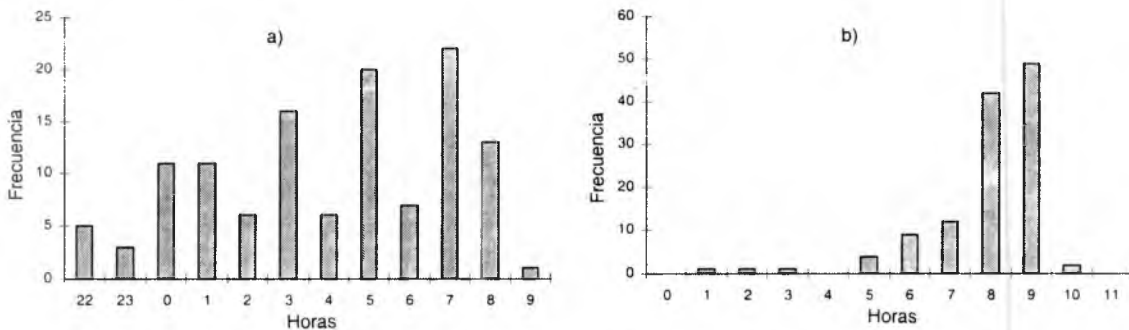


FIGURA 2. Frecuencias de horas de comienzo (a) y de finalización (b) de helada en Córdoba.

la frecuencia de heladas radiativas es menor, por encontrarse cerca del mar. Además, por su ubicación geográfica está más afectada por heladas advectivas, en las cuales la hora de comienzo y fin es mucho más variable.

El análisis del FIM permite distinguir la variabilidad de la peligrosidad de las heladas entre las distintas localidades estudiadas. Comodoro Rivadavia presenta el mayor riesgo con valores promedio de aproximadamente 200° hora, seguida por Mar del Plata, Córdoba, Rosario, Ezeiza, llegando a valores de 11° hora en Resistencia (Figura 3). Comodoro Rivadavia no se incluye en la figura por razones de escala).

Si bien se esperaría que el índice FIM medio aumentara con la latitud, se observa que Ezeiza no cumple con este patrón, presentando valores inferiores a los esperados. La reducción de este índice se debió a que tanto la frecuencia de heladas como la duración y las temperaturas mínimas alcanzadas fueron considerablemente menores respecto a Córdoba y Rosario.

Córdoba, con menor latitud que Rosario, presentó valores mayores del índice debido a que es más continental; además Rosario posee el efecto moderador del río Paraná.

Analizando el FIM año a año para cada una de las localidades, los mayores valores se observan en 1995 y 1996, años en los cuales hubo importantes pérdidas en las producciones de cereales de invierno (Com. Per. de Ing. Agr. M. Bigliardi) y cultivos fruti-hortícolas. El año 1998 fue el que presentó los menores valores de FIM en concordancia con lo evidenciado a nivel global como el año más cálido de los últimos 100 años (IPCC, 2001).

Análisis temporal

Dado que en numerosas investigaciones se hace referencia al aumento de las temperaturas en todo el globo (IPCC, 2001), lo cual implicaría un cambio en el régimen de heladas, se decidió comparar los resultados obtenidos en la primera parte del trabajo, con los de un período anterior (1976-1985).

Al comparar los resultados obtenidos para la duración media de las heladas en los dos períodos (Cuadros N° 2 y 3), se observaron diferencias significativas al 95% solamente en Rosario, registrándose una disminución en el período 94-03, manifestándose un retraso en la hora de comienzo. Comodoro Rivadavia también presentó una disminución en la duración media pero sin llegar a ser significativa, pasando de 7.8 en el período 76-85, a 7,1 horas en

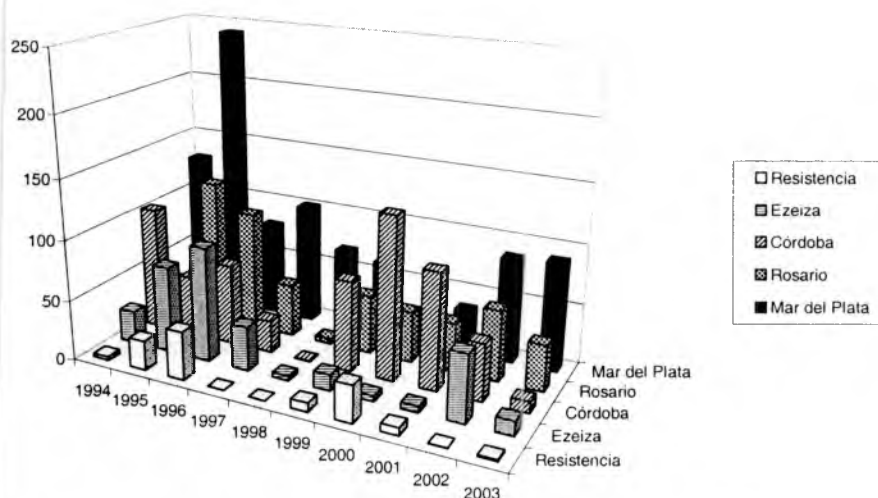


FIGURA 3. Frost Index Modificado (FIM) anual para las distintas localidades.

CUADRO N° 3. Parámetros estadísticos de la duración de heladas para las localidades analizadas en el período 1976-1985.

76-85		RES	COR	ROS	EZE	MPL	CRV
Duración (horas)	Media	3,6	4,6	5,0	4,2	4,6	7,8
	Mediana	3	4	5	4	4	7
	Máx.	10	13	13	13	12	24
	Desv.	2,50	3,07	3,03	2,81	3,27	5,69

el 94-03. En Resistencia se produjo un aumento de la duración media que tampoco resultó significativo.

Con el objetivo de realizar un análisis más detallado de lo ocurrido en el tiempo, se confeccionaron histogramas de frecuencia de duración de heladas. En todas las localidades estudiadas se observaron diferencias entre los períodos 1976-1985 y 1994-2003, tanto en las heladas de corta como en las de larga duración.

Comodoro Rivadavia (Figuras 4.f.1 y 4.f.2) mantuvo la baja frecuencia de heladas de larga duración (20 a 24 horas) pero tuvo un aumento importante en la frecuencia de heladas de 2 horas. La década 94-03 presenta una distribución de frecuencia de tipo exponencial, con una alta frecuencia de duraciones cortas y baja de larga duración.

Mar del Plata también presenta un gráfico de frecuencia de tipo exponencial en la última década (Figura 4.e.2), con un aumento en la ocurrencia en casi todas las duraciones consideradas, en donde se destaca el aumento de frecuencia para la duración de 2 horas (aproximadamente el 32%) y de 4 horas (aproximadamente el 50%).

En Ezeiza ocurre el fenómeno inverso, pues la distribución de frecuencias de tipo exponencial se observa en el período 76-85 y para el último período el gráfico muestra valores de frecuencia que no siguen un patrón definido (Figuras 4.d.1 y 2). Si bien, tanto la media como la mediana no se modificaron de un período al otro, todas las frecuencias de la última década mostraron valores menores que para la década anterior. Desaparecen por completo las heladas de larga duración (12 a 14 horas) y las de 2 y 4 horas se redujeron en un 40% y un 60%, respectivamente.

Córdoba mantiene la misma cantidad de casos para 2 horas de duración y se redujeron las heladas de 6 y 8 horas (Figuras 4.b.1 y 2).

En Resistencia se observa un fenómeno distinto a los anteriores, si bien la frecuencia de las de 2 horas de duración disminuye en un 50% en la última década, las correspondientes a 4, 8 y 12 horas aumentan, evidenciándose este mismo resultado en la media (Figura 4.a.1 y 2).

Para Rosario, excepto la frecuencia de 2 horas de duración que se mantuvo similar, las frecuencias disminuyen considerablemente en la década 94-03 (Figuras 4.c.1 y 2), provocando la disminución del valor medio.

Del análisis temporal del FIM (Figura 5) se desprende un aumento del riesgo en Mar del Plata en la última década, una disminución significativa al 90% en Ezeiza y Rosario y sin cambios en Resistencia, Córdoba y Comodoro Rivadavia. Respecto a las desviaciones estándar, si bien existen diferencias visuales entre una y otra década no resultaron significativas en ningún caso.

Finalmente, si bien no aparece un patrón bien definido en el comportamiento de la frecuencia de duración de las heladas a lo largo del tiempo, el análisis del FIM reveló una disminución de la peligrosidad de las heladas en Rosario y Ezeiza, hecho que podría deberse al crecimiento urbano.

CONCLUSIONES

La hora más probable de ocurrencia de heladas en las localidades estudiadas osciló entre las 5 y las 8 de la mañana.

La duración media fue de alrededor de 4,4 horas excepto en Comodoro Rivadavia, que presenta un comportamiento diferente al resto de las localidades, registrándose heladas de hasta 24 horas de duración.

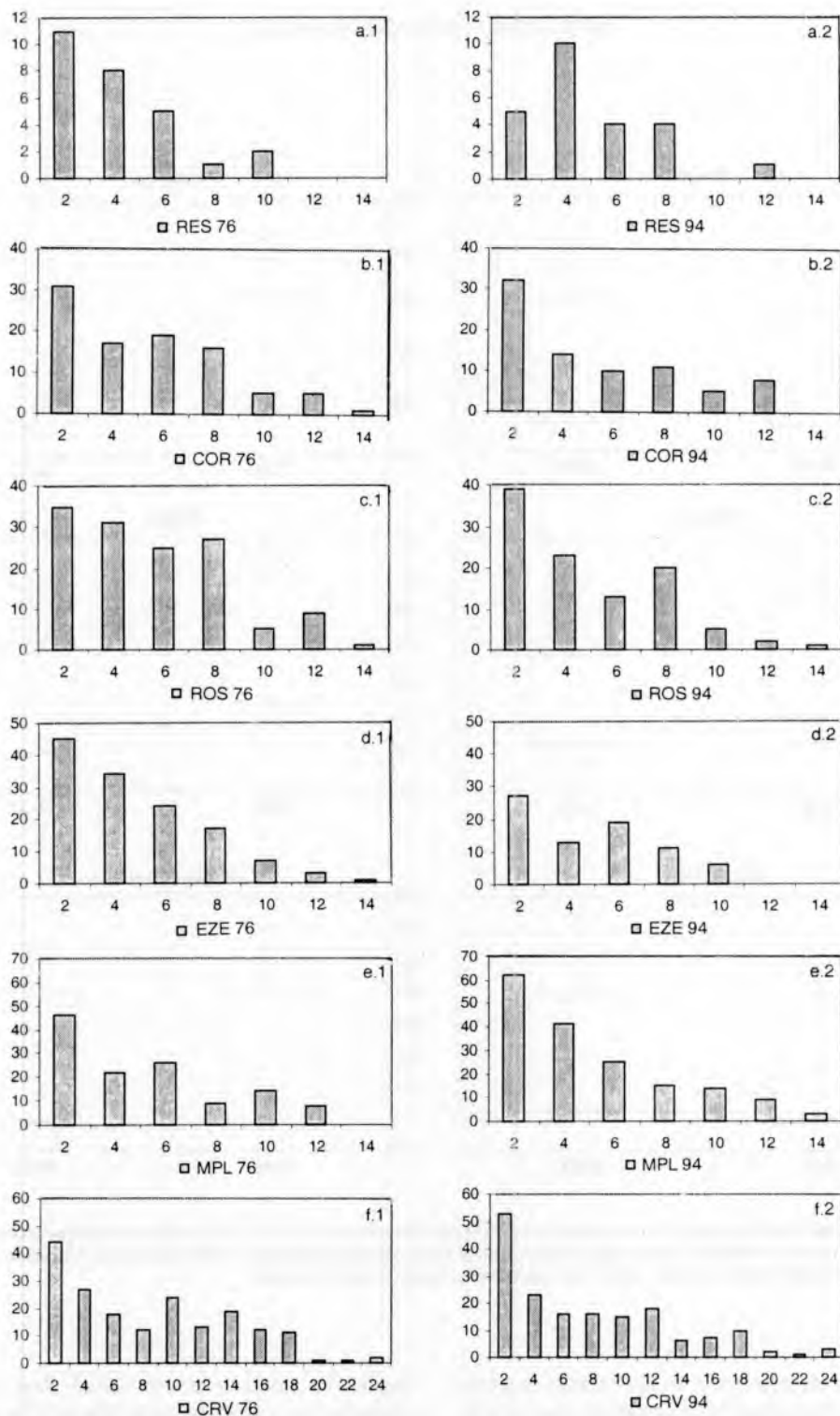


FIGURA 4. Histogramas de frecuencia de duración de helada para Resistencia (a); Córdoba (b); Rosario (c); Ezeiza (d); Mar del Plata (e) y Comodoro Rivadavia (f); para las décadas del 76-85 (1) y 94-03 (2).

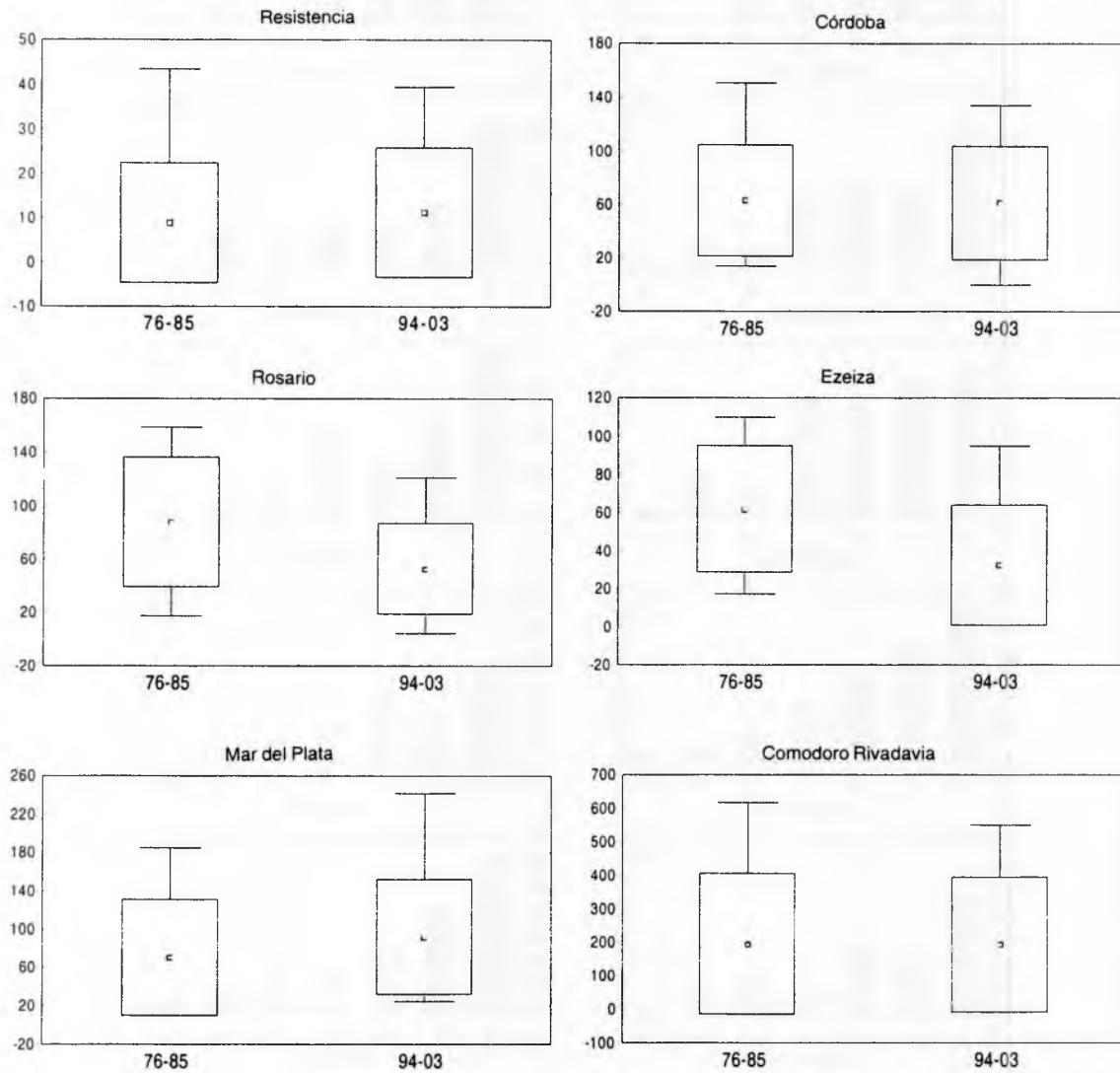


FIGURA 5. Gráficos de caja para la comparación del FIM para los periodos 76-85 y 94-03, en las seis localidades estudiadas. Los bordes superior e inferior de las cajas representan el rango comprendido entre más/menos una desviación estándar, el cuadrado central representa la media y los segmentos, los extremos de la serie.

La hora de comienzo de las heladas presentó una mayor variabilidad que la hora de finalización, dado que esta última se encuentra fuertemente relacionada con la hora de salida del sol, motivo que

explica su aumento con la latitud. Este comportamiento no es tan marcado en Mar del Plata debido a su cercanía al mar y a que está más afectada por heladas de tipo advectivas.

De acuerdo con el índice FIM, la localidad de Ezeiza presentó, menor riesgo por heladas que Rosario y Córdoba. Rosario a pesar de encontrarse más al Sur que Córdoba tiene un índice de peligrosidad menor.

En el análisis temporal se encontró una disminución significativa en la duración media de las heladas para Rosario.

En Ezeiza si bien no se modificó la duración media, disminuyó la frecuencia de heladas para cada rango de duración, no habiéndose observado en el último período heladas de más de 10 horas.

Para las localidades de Ezeiza y Rosario se registró una disminución del riesgo por heladas en el último período, y un aumento para Mar del Plata.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Servicio Meteorológico Nacional por haber facilitado la información meteorológica para realizar este trabajo.

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto UBACYT G69, 2004-2007.

BIBLIOGRAFÍA

- BURGOS, J.J. 1963. Las heladas en la Argentina. Colección Científica del INTA. Vol III. 388pp. Buenos Aires.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1994. Validación del método de estimación de fechas medias de primeras y últimas heladas. 6ª Reunión Argentina de Agrometeorología.: Córdoba.
- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE; S. PEREZ; S. MAIO y R. RODRÍGUEZ. 1996. Cartas climáticas 1961-1990 de fechas de primeras y últimas heladas en la Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía* 16 (3): 253-263.
- DÍAZ QUERALTO, F. 1971. Práctica de la defensa contra las heladas. Ed. Dilagro. Lérida. España.
- FERNÁNDEZ LONG, M.E.; I.E. BARNATÁN y G.M. MURPHY. 2001. Las heladas en la ciudad de Buenos Aires y en el conurbano bonaerense. *Rev. Arg. de Agrometeorología* 1(2):101-106.
- HIRSCHHORN, J. 1952-1958. Las heladas en la República Argentina. Atlas Agroclimático. Serie: Índices Agroclimáticos. S.M.N. Buenos Aires.
- IPCC. 2001. Cambio Climático 2001: La Base Científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer informe de evaluación del IPCC.
- LINDKVIST, L. and D. CHEN. 1999. Air and soil frost indices in relation to plant mortality in elevated clear-felled terrain in Central Sweden. *Climate Research*, 12(1999):65-75.
- PASCALE, A.J.; E.A. DAMARIO y C. BUSTOS. 1997. Aumento de las temperaturas mínimas invierno-primaverales en el Alto Valle del Río Negro en los últimos 90 años. *Rev. Facultad de Agronomía*. 17 (1): 127-131.
- ZINONI, F.; G. ANTILINI; T. CAMPISI; V. MARLETTO and F. ROSSI. 2002. Characterization of Emilia Romagna region in relation with late frost risk. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27(2002):1091-1101.