

FRÍO INVERNAL DISPONIBLE PARA FRUTALES CRIÓFILOS EN LA REGIÓN DE CUYO (ARGENTINA)

E.A. DAMARIO; A.J. PASCALE y R.H. HURTADO¹

Recibido: 22/03/07

Aceptado: 24/04/07

RESUMEN

Con la utilización de una metodología original, se computan las “horas de frío” medias del período 1961/90 de más de 750 localidades de las provincias de San Juan, Mendoza y San Luis, integrantes de la Región de Cuyo (Argentina), considerando solamente las acumuladas durante el período de descanso de los frutales criófilos.

La cartografía agroclimática trazada con estos valores, muestra la gran disposición de enfriamiento invernal, superior a las 1.000 horas en la mayor parte de la región.

Se enfatiza la tendencia negativa mostrada por las “horas de frío” durante la segunda mitad del siglo pasado y se pronostica la posible reducción futura, estimando que hacia el 2050 gran parte de la región podría carecer del grado de enfriamiento necesario para el normal cumplimiento del ciclo biológico de las especies actualmente cultivadas, y alertando sobre las posibles decisiones que sería necesario adoptar al respecto.

Palabras clave. Región de Cuyo (Argentina), horas de frío, carta agroclimática.

AVAILABILITY OF CHILL HOURS FOR DECIDUOUS FRUIT TREES IN THE CUYO REGION (ARGENTINA)

SUMMARY

An original method is used to compute average “chill hours” in 1961-90 period for more than 750 stations in the provinces of San Juan, Mendoza and San Luis which constitute the Cuyo Region of Argentina. The chill hours were accumulated only during the rest period of the deciduous fruit trees.

The agroclimatic charts prepared with the accumulated values show a large availability of chill hours in excess of 1000 hours for most of the region.

It should be emphasized the negative trend of the chill hours during the second half of the past century and it can be forecasted a continuing decline. By 2050 a large portion of the region may lack enough cooling conditions for the normal biological processes of the species currently cultivated. An early warning is issued on needed future decision-making actions.

Key words. Cuyo region (Argentina), chill hours, agroclimatic charts.

¹Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas - Facultad de Agronomía UBA - Av. San Martín 4453
(1417) - Buenos Aires - Argentina.

INTRODUCCIÓN

La orografía natural de áreas serranas determina una complicada distribución geográfica de la cantidad de "horas de frío" disponibles para la satisfacción de la necesidad que manifiestan los cultivos frutales llamados criófilos durante el subperíodo fenológico de su descanso vegetativo anual.

En un estudio anterior (Pascale *et al.*, 2001), se publicó la carta agroclimática sobre la disposición de enfriamiento invernal en la amplia región precordillerana del noroeste de la Argentina, que comprende las provincias de Salta, Tucumán, Jujuy, Catamarca y La Rioja.

Con un método de estimación diferente, se presenta ahora la cartografía agroclimática de las horas de frío medias de las provincias cuyanas de San Juan, Mendoza y San Luis. De esta forma, se logra vincular el área cuyana con la región noroeste y con el área serrana de la provincia de Córdoba, también analizada anteriormente (Damario y Pascale, 1999).

Queda completado así el conocimiento de la disponibilidades en "horas de frío" de la región geográfica occidental y central de la Argentina, desde su límite norte hasta la latitud de 38° S.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado consistió en la información provista por las estadísticas climatológicas oficiales que cubren el período de los últimos sesenta años del siglo pasado (SMN, 1958, 1965, 1961, 1987, 1992).

Para asimilarlo con los estudios anteriores, el análisis principal se centró en el período 1961/90, usándose el resto de la información para resolver aspectos secundarios.

La nómina de las estaciones meteorológicas con su ubicación geográfica, altitud y decenios de observación, se informa en las columnas 1 a 4 y 13 del Cuadro 1.

Toda aquella información climática que cubre sólo parcialmente el período usado 1961/90, se normalizó según el método corriente (Conrad y Pollak, 1950).

Con el objetivo de lograr un mayor detalle geográfico de la magnitud del enfriamiento al que pudiera obtenerse utilizando solamente la información provista por las es-

taciones meteorológicas, se recurrió a los valores de temperaturas medias de enero y julio, calculadas para el decenio climático 1941/50 para 427 localidades o puntos de la provincia de Mendoza, 160 para la de San Juan y 170 para la de San Luis (De Fina *et al.*, 1961, 1962, 1964).

La carta altimétrica del área de estudio (Fig. 1) se realizó utilizando el programa SURFER 7.0.

El cálculo de las "horas de frío" (HF) normales acumuladas durante los cinco meses más fríos del año, que son los que mayormente corresponden al período de descanso vegetativo anual, se realizó usando el método desarrollado por los autores, (Damario *et al.*, 1998), consistente en ecuaciones integradas por dos valores climáticos: la temperatura mínima media anual (T_{12}) y el promedio de

$$HF(1000) = 3.929,92 - 54,86(T_5) - 372,31(T_{12}) + 1,86(T_5 \times T_{12}) + 0,244(T_5)^2 + 9,39(T_{12})^2 \quad [1]$$

$$HF(2000) = 3.954,04 + 130,78(T_5) - 511,46(T_{12}) - 21,97(T_5 \times T_{12}) + 6,0(T_5)^2 + 24,30(T_{12})^2 \quad [2]$$

La segunda fórmula debe usarse cuando la aplicación de la primera supera las 1.000 HF.

Los valores de T_5 y T_{12} correspondientes a las estaciones meteorológicas utilizadas, conjuntamente con los de temperatura media de enero (T_E) y de julio (T_J) y las HF obtenidas por la aplicación de las fórmulas citadas, se transcriben en las columnas 5 a 9 del Cuadro 1.

Para calcular las HF correspondientes a los 757 puntos secundarios, cuya única información térmica son las temperaturas medias de enero y de julio, fue necesario establecer la relación entre estos promedios y los valores de T_5 y T_{12} , es decir, encontrar la manera de poder estimar las HF con los valores de T_E y T_J .

Para ello, se investigó establecer esta relación con los valores climáticos disponibles, comenzando por calcular las correlaciones simples entre pares de valores, obteniéndose las cifras del Cuadro 2, en su mayor parte altamente significativas.

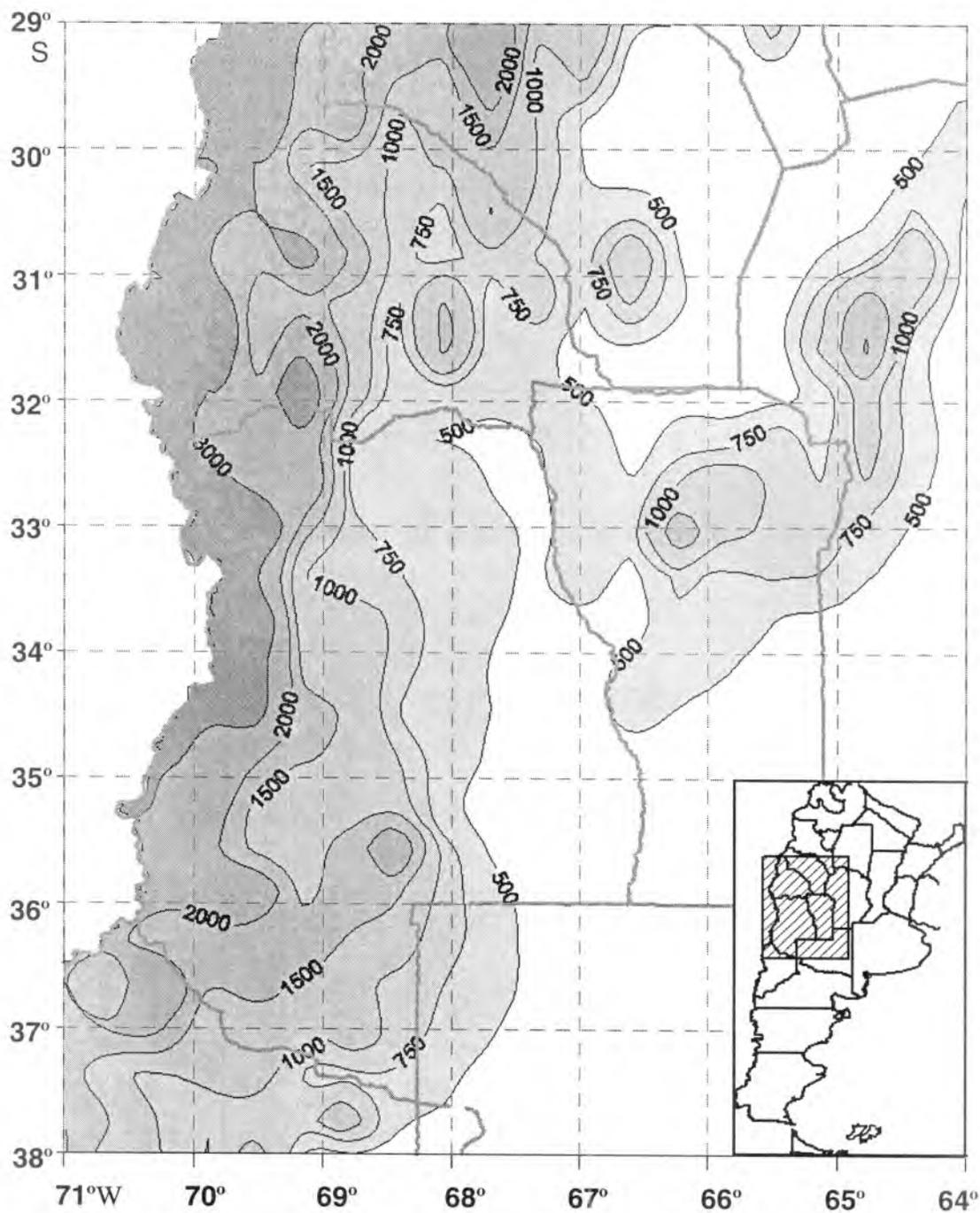


FIGURA 1. Carta altimétrica de la región en estudio, con isohipsas hasta 3.000 m.

CUADRO 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio e información complementaria detallada en el texto.

Provincia y localidad	Coordenadas geográficas			Valores térmicos				Horas de frío calculadas con las fórmulas		Error		Período de observación (*)
	Lat S _o	Long W _o	Altitud m	T ₅	T ₁₂	T _E	T _J	1 y 2	5,6 y 7	Abs.	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MENDOZA												
1- El Plumerillo	32,50	68,47	704	3,8	10,1	25,1	7,7	990	980	10	1,0	1, 2, 3, 4 y 5
2- San Martín	33,05	68,25	653	3,6	9,4	24,4	7,1	1.090	1.120	30	2,7	1, 2, 3, 4 y 5
3- San Carlos	33,46	69,02	940	-0,3	5,4	21,0	5,4	1.895	1.890	5	0,3	1, 2, 3 y 4
4- San Rafael	34,35	68,24	748	2,9	8,1	23,3	7,3	1.320	1.340	20	1,5	1, 2, 3, 4 y 5
5- Malargüe	35,30	69,35	1.425	-0,9	4,1	19,6	3,5	2.235	2.170	65	2,9	2, 3, 4 y 5
6- Chacras de Coria	32,59	68,52	921	2,1	7,9	23,2	5,9	1.365	1.360	5	0,4	2, 3 y 4
7- Cnia. Alvear	35,00	67,39	465	2,9	8,3	23,5	7,7	1.300	1.295	5	0,4	1, 2 y 3
8- Rama Caída	34,40	68,23	692	1,9	7,1	22,8	7,3	1.520	1.545	25	1,6	3 y 4
9- Uspallata	32,36	69,20	1.891	-2,1	2,8	18,7	4,6	2.590	2.530	60	2,3	2, 3 y 4
10- Ing° D. Sardina	33,18	69,12	750	1,6	8,2	23,4	6,2	1.340	1.315	25	1,9	2
11- La Paz	33,47	67,51	506	3,3	10,3	25,3	8,2	980	950	30	3,0	1
12- Bardas Blancas	35,52	69,48	1.450	0,2	4,9	19,5	4,2	2.260	2.295	35	1,5	2
13- Junín INTA	33,09	68,28	653	3,1	9,0	24,0	7,2	1.160	1.190	30	2,5	3
14- La Consulta INTA	33,44	69,07	940	0,9	6,7	22,2	6,3	1.610	1.585	25	1,5	3
SAN JUAN												
15- San Juan Aero	31,34	68,25	598	2,8	9,9	26,8	7,8	1.065	1.075	10	0,9	1, 2, 3, 4 y 5
16- San Juan INTA	31,37	68,32	615	3,8	10,3	26,2	8,2	960	985	25	4,1	2, 3 y 4
17- Valle Fértil	30,38	67,27	857	5,3	10,5	24,6	9,2	875	900	25	2,8	2 y 3
18- El Balde	30,57	68,38	928	1,1	8,4	26,3	8,1	1.325	1.320	5	0,4	2 y 3
19- San Martín INTA	31,35	68,26	591	2,7	9,6	25,1	8,4	1.095	1.110	45	4,4	3
20- Jachal	30,25	68,75	1.165	2,2	8,6	24,4	8,8	1.260	1.255	5	0,4	1, 2 y 3
SAN LUIS												
21- San Luis Aero	33,10	66,35	713	5,6	10,9	24,3	9,4	805	1.130	325	40,0	1, 2, 3, 4 y 5
22- Villa Reynolds Aero	33,73	65,38	486	2,9	8,1	23,1	7,9	1.320	1.325	5	0,4	1, 2, 3, 4 y 5
23- Villa Mercedes INTA	33,72	65,48	515	1,8	7,4	22,9	8,3	1.460	1.410	50	3,4	3
24- Unión	35,02	65,95	372	2,6	7,8	23,3	7,7	1.380	1.340	40	2,9	2
25- Tilisarao	33,66	66,03	750	-	-	23,6	7,9	-	1.265	-	-	2

(*) Período de observación: 1: 1951/60 - 2: 1961/70 - 3: 1971/80 - 4: 1981/90 - 5: 1991/2000

CUADRO 2. Correlaciones simples entre pares de valores climáticos disponibles en la Región.

Nº del Cuadro 1 de las localidades integrantes	T _E / HF	T _J / HF	T ₅ / HF	T ₁₂ / HF	T _E / T ₁₂	T _J / T ₁₂
1 a 6 (incl)	-0,9967	-0,9497	-0,9850	-0,9960	0,9968	0,9484
1 a 15	-0,9957	-0,8506	-0,9891	-0,9950	0,9958	0,8665
1 a 15 y 22 a 26	-0,9958	-0,8171	-0,9396	-0,9801	0,9784	0,8938
1 a 26	-0,9110	-0,8420	-0,8894	-0,9837	0,8993	0,8689
16 a 21	-0,7681	-0,1860	-0,8628	-0,9854	-0,0459	0,1652

Como puede apreciarse, cualquiera fuera la cantidad de localidades consideradas en los cálculos, las HF se correlacionan mejor con T₁₂ que con T₅ y con excepción de las localidades de la provincia de San Juan, resultó también mayor la relación que existe entre T₁₂ y T_E.

En virtud de estos resultados, se concentró el análisis en los valores de T₁₂ y T_E, los cuales a través de una serie de regresiones, permitieron formular varias ecuaciones para calcular las HF.

Utilizando los valores climáticos de las localidades de la provincia de Mendoza con información completa para el período 1961/90 (numeradas de 1 a 6 en el Cuadro 1) y los de las tres localidades con solamente dos decenios de observaciones, (numeradas 7, 8 y 9), se desarrollaron las siguientes ecuaciones:

$$T_{(12)} = 0,1418 (T_E) + 0,0226 (T_E)^2 - 7,475 \quad R^2 = 0,993 \quad [3]$$

$$HF = 3,584 - 388,8 (T_{12}) + 15,37 (T_{12})^2 - 0,221 (T_{12})^3 \quad R^2 = 1 \quad [4]$$

Estas dos ecuaciones se resumieron posteriormente en una sola:

$$HF = 7,441,4 - 92,964(T_E) - 14,41 (T_E)^2 + 0,129 (T_E)^3 + 0,01 (T_E)^4 - 0,000048 (T_E)^5 - 0,0000025 (T_E)^6 \quad [5]$$

Con la excepción de San Luis Aero, esta ecuación mostró buenos ajustes al aplicarla a las demás localidades

de la provincia de San Luis, cuya muy escasa información climática para el período de estudio, no ameritaba desarrollar una ecuación particular

Para la provincia de San Juan, también de reducida información climática, las ecuaciones determinadas fueron algo diferentes:

$$T_{(12)} = 16,253 + 0,6753 (T_J) - 0,3257 (T_E) - 0,004741 \text{ Altitud} \quad R^2 = 0,996 \quad [6]$$

$$HF = 3189,3 + 1111,67 (T_{12}) - 68,81 (T_{12})^2 - 0,0136 (T_{12})^3 \quad R^2 = 0,994 \quad [7]$$

Estas ecuaciones se aplicaron para el cálculo de las HF de los 757 puntos secundarios, usando para Mendoza y San Luis la fórmula [5] y para San Juan realizando la doble aplicación, es decir, calculando primero T₁₂ mediante la ecuación [6] y luego HF con la [7].

Las temperaturas medias de enero y julio de los puntos secundarios fueron estimadas por De Fina *et al.*, tomando como base la información climática 1941/50, por lo que se hizo necesario comprobar previamente su validez para el período 1961/90. La confrontación entre los valores climáticos para ambos meses de aquellas pocas localidades con información completa en ambos periodos, produjo los resultados que se muestran en el Cuadro 3, los cuales indican que en la región cuyana, las temperaturas medias mensuales tuvieron un incremento durante todo el año, con un mayor aumento de las invernales. En un análisis realizado sobre información del período 1941/90 (Pascale y Damario, 1993-94.) se determinó para la

CUADRO 3. Temperaturas medias de enero a julio estimadas por De Fina *et. al.*, para 1941-50 y su comparación con las del período 1961-90.

Localidad	T_E			T_J		
	1941/50	1961/90	Δ	1941/50	1961/90	Δ
El Plumerillo	24,8	25,1	+ 0,3	6,7	7,7	+ 1,0
Malargüe	19,5	19,6	+ 0,1	2,7	3,5	+ 0,8
San Carlos	20,8	21,0	+ 0,2	4,1	5,4	+ 1,3
San Luis	23,9	24,3	+ 0,4	8,6	9,4	+ 0,8

Región de Cuyo, un aumento de 0,1 °C por cada 10 años en la temperatura media del mes de enero y un aumento de 0,16 °C en la del mes de julio. Comparándolos con los obtenidos para 61/90, pudo observarse que hubo un incremento mayor del aumento térmico invernal. De acuerdo con las diferencias ahora obtenidas, se decidió sumar dos décimas de grado a las T_E y un grado a las T_J , antes de aplicar las fórmulas de cálculo de HF a los datos de los puntos secundarios. Esta actualización de las temperaturas, representa sólo una pequeña corrección a las HF obtenibles con los valores originales de De Fina sin corrección, de alrededor de unas 30 HF, en promedio, para las T_E elevadas y unas 60-80 para las más reducidas.

RESULTADOS

En la columna 9 del Cuadro 1, figuran las HF calculadas con las fórmulas [1] y [2] para todas las localidades con información climática, y en la columna 10, los valores de HF calculados aplicando la fórmula [5] a las de Mendoza y San Luis y las fórmulas [6] y [7] a las de San Juan.

En las columnas 11 y 12 del Cuadro 1, los errores absolutos y porcentuales entre ambas determinaciones demuestran la bondad del ajuste obtenido ya que solamente en dos localidades (de valores normalizados) alcanza a un 4%. El caso de San Luis Aero es difícil de explicar, pues es la única localidad que registra un error tan elevado. Es probable, que condiciones orográficas muy especiales determinen un régimen particular de temperaturas mínimas,

representado por valores de T_5 y T_{12} más elevados que los esperables dado la altitud del lugar. En ese caso, es de suponer que tal situación es puntual, y no se extiende a las condiciones zonales vecinas.

Los valores de HF calculados para la información climática y para los 757 puntos, introducidos en un sistema de información geográfica (National Geographical Center-NC-DC-, departamento de la NOAA Satellite and Information Service, con celda de grilla cada 2 minutos) permitieron trazar las cartas de las Figuras 2 a 5, comprendiendo una del área total y una de cada provincia por separado para ilustrar con mayor detalle el valor y trayectoria de las criosolneas, cuyo ajuste con las altitudes zonales puede apreciarse comparándolas con la carta de la Figura 1.

Es de destacar que, a pesar de los diferentes métodos utilizados para calcular las HF de cada región, (Noroeste, Córdoba y Cuyo), se registra coincidencia y continuidad de las isolneas en los límites de la Región Cuyana con las de La Rioja en el norte y con las de Córdoba en el este.

La disposición de estadísticas decenales cubriendo los sesenta últimos años del siglo pasado, permite analizar la tendencia que muestra la magnitud del enfriamiento invernal en la zona estudiada y pronosticar las condiciones que podrían afectar a la fruticultura regional en el futuro.

Las cantidades de HF que podrían disponerse en la Argentina hacia mediados de este siglo, fueron estimadas y presentadas por primera vez en una

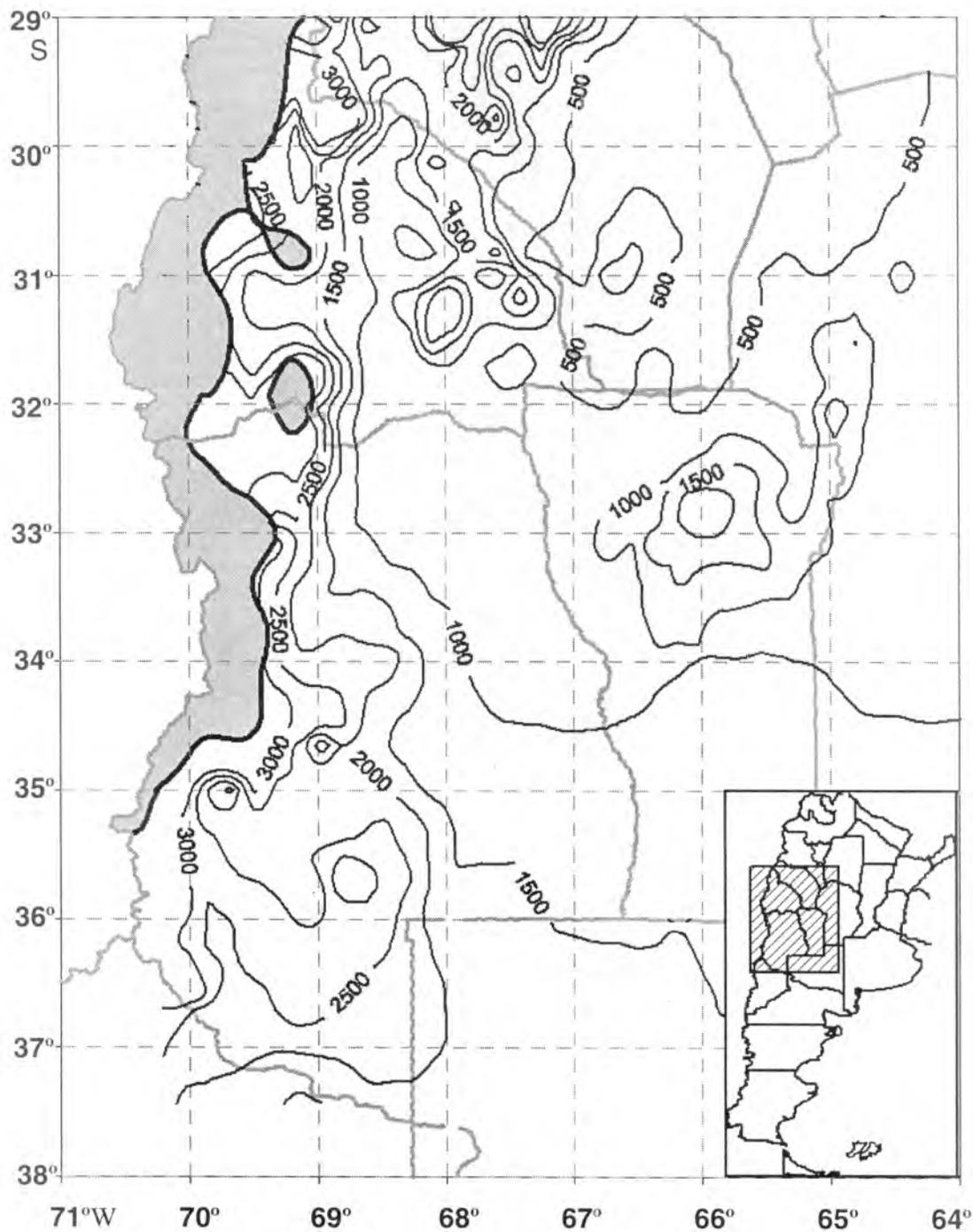


FIGURA 2. Carta de "horas de frío" estimadas para la Región de Cuyo.

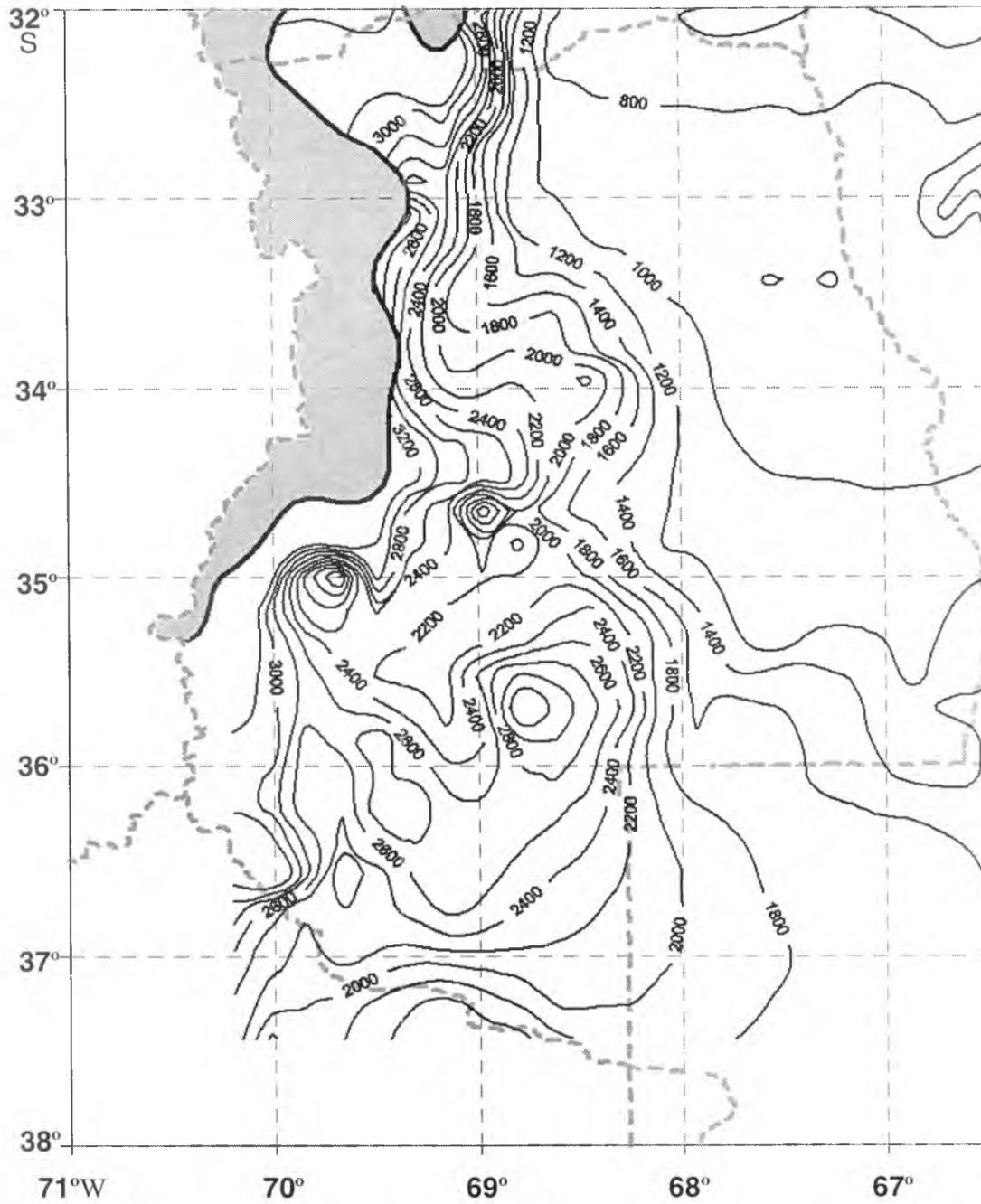


FIGURA 3. Carta de "horas de frío" estimadas para la provincia de Mendoza.

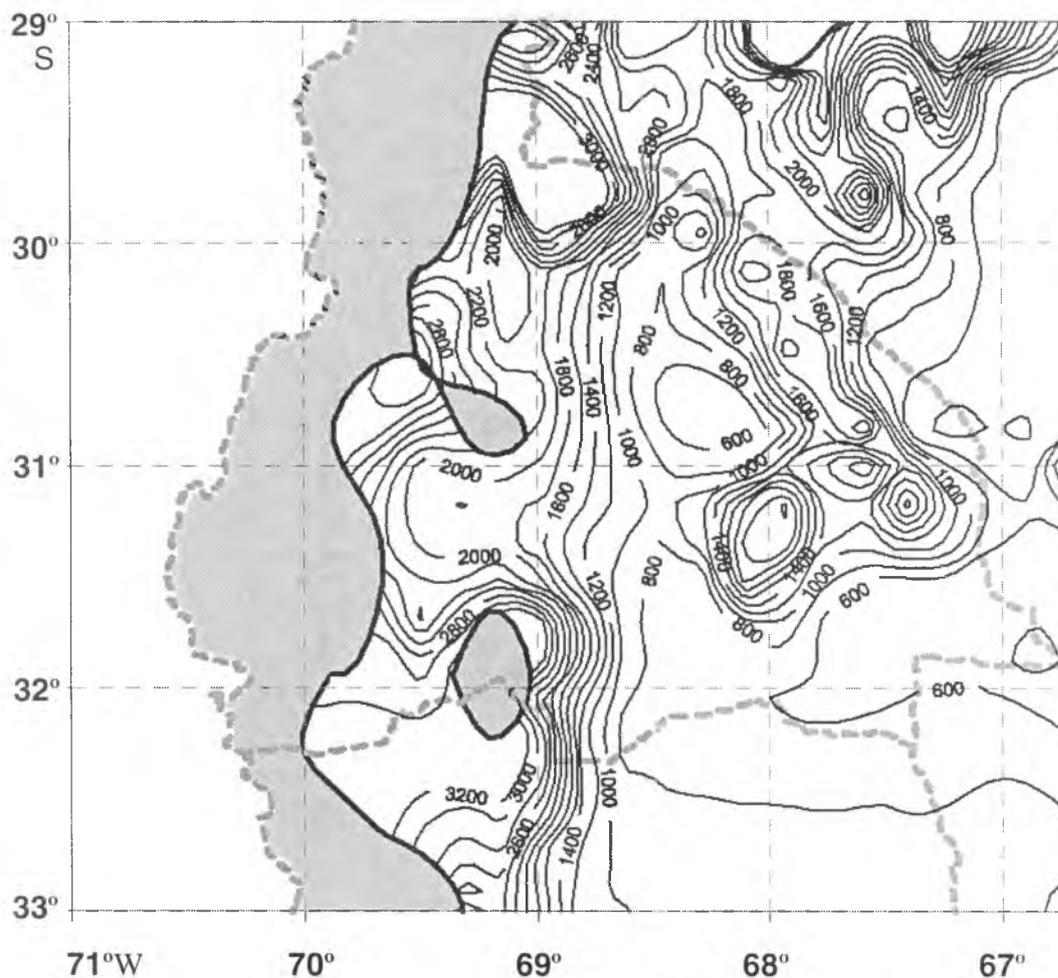


FIGURA 4. Carta de "horas de frío" estimadas para la provincia de San Juan.

carta agroclimática (Damario y Pascale, 1997). Esta carta, trazada usando solamente la información de las estaciones meteorológicas, y de la cual se reproduce ampliada la Región de Cuyo en la Figura 6, muestra la importante reducción futura en las HF, principalmente por el aumento de las temperaturas mínimas como consecuencia del calentamiento climático global.

El valor de las HF que presenta esa carta para la región cuyana concuerda con las proyectadas en la gráfica de la Figura 7 construida con promedios bi-

decenales de algunas localidades con información al menos en cuatro promedios consecutivos.

La carta anterior y la gráfica actual, son suficientemente ilustrativas sobre la paulatina disminución que, independientemente de las variaciones anuales, permite pronosticar la magnitud del enfriamiento posible hacia mediados de siglo si se mantuviera la tendencia observada hasta el presente.

Llama la atención la fuerte tendencia negativa mostrada por Malargüe y San Carlos, mientras que las correspondientes a localidades en áreas de cul-

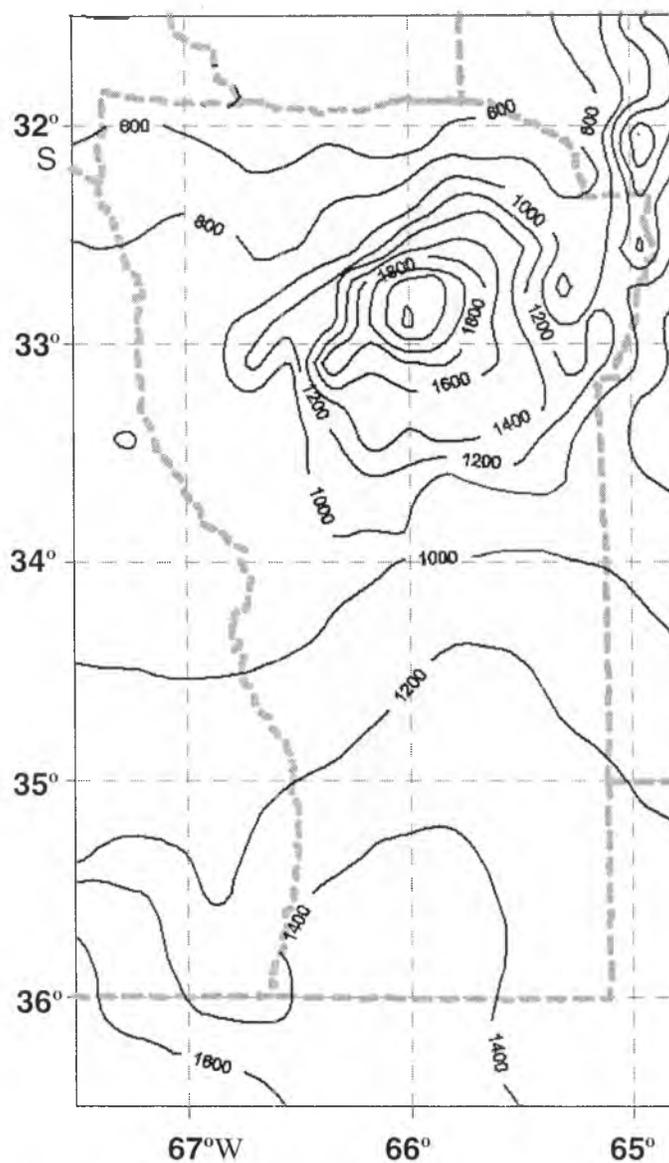


FIGURA 5. Carta de "horas de frío" estimadas para la provincia de San Luis.

tivo y riego, siendo también negativas, no alcanzan valores de tendencia tan elevada, aunque porcentualmente la magnitud de la disminución sean comparables.

La prolongación de las líneas de tendencia hasta el bidecenio 2041/60, estaría indicando que, hacia mediados de este siglo la disposición de horas

de frío en algunas áreas de la región, podría sufrir una reducción de entre el 30 y 40% de los valores actuales, por lo que dejarían de ser adecuadas para las especies actualmente en explotación. Este pronóstico establece una alerta sobre las necesarias decisiones que deberán tomarse al respecto, en la fruticultura regional.

CUADRO 4. Probable disminución del enfriamiento invernal para mediados de siglo.

Localidad	Horas de frío			
	1981/2000	2050	Δ	% disminución
Malargüe	2.130	1.600	530	25
San Carlos	1.790	1.240	550	31
Chacras de Coria	1.300	1.100	200	15
San Martín	1.000	630	370	37
San Juan	930	600	330	36
El Plumerillo	870	440	430	49
San Luis	740	450	290	39

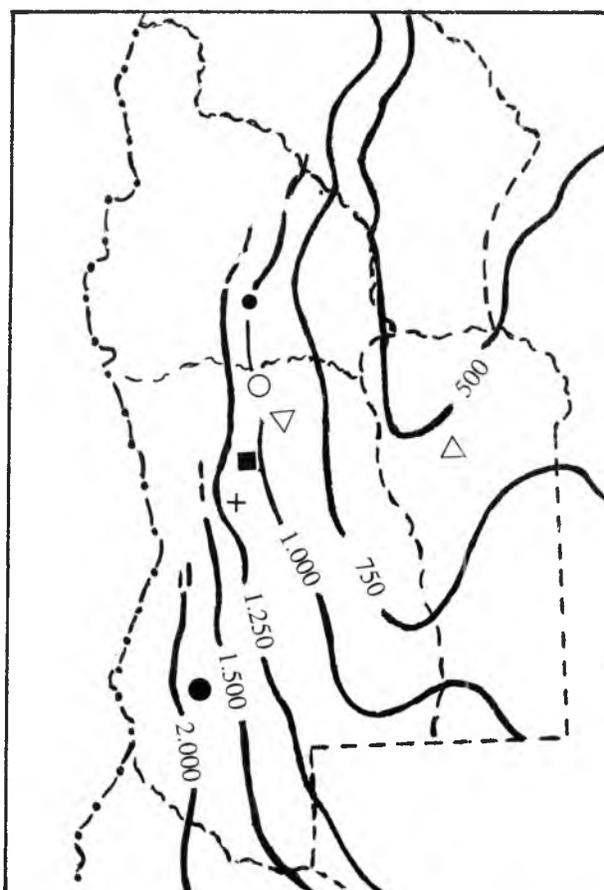


FIGURA 6. "Horas de frío" estimadas para el 2050 en la Región de Cuyo (Pascale y Damario, 1997).

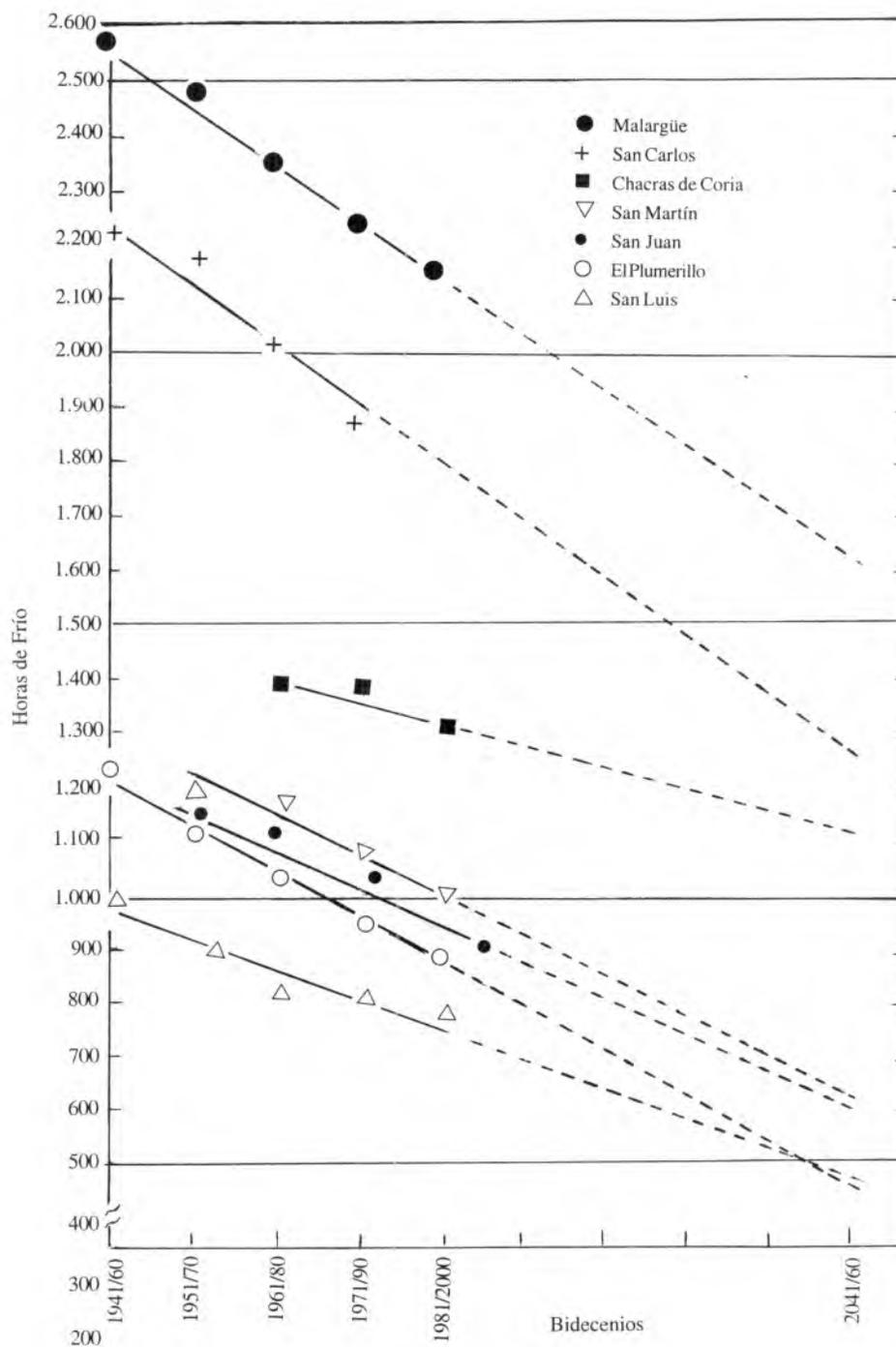


FIGURA 7. Promedios bidecenales de HF de algunas localidades con información climática de la Región de Cuyo con al menos cuatro décadas consecutivas.

BIBLIOGRAFÍA

- CONRAD, V. and W. POLLAK. 1950. *Methods in Climatology*. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE y C. BUSTOS. 1998. Método simplificado para la estimación agroclimática de "horas de frío" anuales. *Rev. Fac. de Agronomía - UBA* 18(1-2): 93-97.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1999. Cartas agroclimáticas de "horas de frío" de la Región Serrana de la Provincia de Córdoba. *Agriscientia* 21: 17-28.
- De FINA, A.L.; F. GIANNETTO y L.J. SABELLA. 1961. Difusión geográfica de cultivos índices en la Provincia de San Luis y sus causas. *Inst. Suelos y Agrotecnia. INTA. Public. N° 73*.
- De FINA, A.L.; F. GIANNETTO y L.J. SABELLA. 1964. Difusión geográfica de cultivos índices en la Provincia de San Juan y sus causas. *Inst. Suelos y Agrotecnia. INTA. Public. N° 80*.
- De FINA, A.L.; F. GIANNETTO y L.J. SABELLA. 1962. Difusión geográfica de cultivos índices en la Provincia de Mendoza y sus causas. *Inst. Suelos y Agrotecnia. INTA. Public. N° 83*.
- PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. 1993-94. Tendencia de la amplitud térmica diaria en la Argentina desde 1901 a 1990. *Rev. Fac. de Agronomía - UBA* 14(2):127-138.
- PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. 1997. Disponibilidad Agroclimática estimada de "horas de frío" hacia el 2050. VII Reunión Argentina y I Latinoamericana de Agrometeorología. *Actas (II):21*. Buenos Aires.
- PASCALE, A.J.; E.A. DAMARIO y R. HURTADO. 2001. Frío invernal disponible para especies criófilas en el noroeste de la Argentina. *Rev. Argentina de Agrometeorología* 1(2): 13-20.