

# HORAS DE FRÍO DISPONIBLES PARA FRUTALES CRIÓFILOS EN LA REGIÓN SERRANA DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

E.A. DAMARIO; A.J. PASCALE y R.HURTADO

Recibido: 15/10/07

Aceptado: 18/12/07

## RESUMEN

Las "horas de frío" de la región serrana bonaerense de la Ventana y Tandil acumuladas durante el período de dormición de frutales caducifolios se calcularon haciendo uso de una información climática más pormenorizada que la utilizada en estudios anteriores, lo que permitió trazar una nueva carta con mayor detalle en el valor y la trayectoria de las criosolúneas.

Se confirmó la excelente magnitud del "enfriamiento" invernal disponible en el área, siempre superior a las 1.200 horas de frío, alcanzando hasta las 1.600 en las mayores alturas, cantidad capaz de satisfacer las necesidades bioclimáticas de la mayor parte de las especies y cultivares frutales criófilos, aún con la reducción futura que pudiera producirse por el aumento esperable de las temperaturas mínimas de continuar la tendencia registrada hasta el presente.

**Palabras clave.** Horas de frío, región serrana bonaerense, frutales criófilos.

## CHILLING HOURS FOR DECIDUOUS FRUIT TREES IN THE HIGHLAND REGION OF BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINE

### SUMMARY

Using an agroclimatic original method based in climatic values of minimum temperature, rest period chilling hours of la Ventana and Tandil highland region are counted and charted.

Total 1,200 - 1,600 chilling hours are available in this region for use of most criophilous fruit trees species and varieties.

**Key words.** Chilling hours, mountainous region, deciduous fruit trees.

### INTRODUCCIÓN

La dosis de frío invernal capaz de satisfacer la exigencia bioclimática que en tal sentido presentan los frutales criófilos es un requisito imprescindible para la implantación rentable de su cultivo.

Dentro de las regiones aptas para lograr una producción exitosa se encuentran aquellas que por su ele-

vada altitud, registran temperaturas invernales que garantizan el correcto cumplimiento del descanso fenológico anual de estas especies caducifolias.

La magnitud de las "horas de frío" con aptitud "enfriante" de las áreas montañosa y serranas de las Regiones Frutícolas Andina, Cuyo y Central de la Argentina (Altube *et al.*, 2007), fue cartografiada en sen-

dos estudios anteriores (Damario y Pascale, 1999; Pascale *et al.*, 2001; Damario *et al.*, 2007).

El objetivo del presente estudio es cuantificar con detalle las "horas de frío" de la región que comprende a los sistemas orográficos de la Ventana y Tandilia en la provincia de Buenos Aires, con alturas máximas de algo más de 1.200 metros para la primera y 500 para la segunda. Se completa así, a nivel mesoagroclimático, el conocimiento del grado de enfriamiento invernal de las regiones argentinas con altitud mayor a los 200 metros ubicadas al norte de los 40° de latitud, con exclusión del área serrana misionera cuya elevada condición térmica invernal anula el efecto "enfriante" de cualquier posible ocurrencia de horas de frío.

El mayor detalle otorgado en estos estudios al trazado de las criosolúneas en esas regiones de altura, complementa la información de carácter macroagroclimático que para toda la Argentina contiene la carta de horas de frío totales y efectivas 1961/90 publicada anteriormente (Damario y Pascale, 1995).

#### MATERIALES Y MÉTODO

El material básico utilizado consistió en la información sobre valores medios decenales de temperatura del aire con-

tenidos en las estadísticas climatológicas oficiales cubriendo el período 1941-1990 (SMN, 1959 a 1992), aunque el análisis principal se concentró en el período treintaenal 1961/90, para asimilarlo al de los estudios sobre igual tema anteriormente mencionados. Toda aquella información climática incompleta se normalizó al período elegido.

Teniendo en cuenta que el objetivo del estudio es evaluar las horas de frío en la región de las sierras de la Ventana y de Tandil, se concedió máxima atención a la información de aquellas estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Buenos Aires al sur de la latitud 36 y con altitudes mayores a 100 metros, cuya nómina y ubicación se detallan en el Cuadro 1. Solamente hay instalada y funcionando una estación con más de 300 metros de altitud y seis con más de 150; otras cuatro con menor altitud se incluyeron para completar el análisis y la cartografía del área.

Para obtener el mayor detalle geográfico que es el objetivo del estudio, se recurrió a la información sobre valores de temperatura media de los meses de enero (Te) y julio (Tj) calculados por De Fina y Sabella (1970) para 767 lugares en toda la provincia de Buenos Aires con base en valores climáticos del decenio 1941/50. De ellos, solamente se usaron los ubicados en el área estudiada y los que tuvieran más de 100 metros de altitud (Alt), característica estimada por los autores mencionados a partir de planchetas topográficas oficiales. Con esta información y utilizando el programa SURFER 7.0 se trazó la carta altimétrica de la Figura 1, en la que también se ubican las estaciones meteorológicas utilizadas.

CUADRO 1. Nómina de las estaciones meteorológicas utilizadas.

| Localidad            | Altitud<br>m | Latitud S | Longitud W |
|----------------------|--------------|-----------|------------|
| Azul                 | 132          | 36 45     | 59 50      |
| Coronel Suárez       | 234          | 37 30     | 61 57      |
| Laprida              | 212          | 37 34     | 60 46      |
| Bordenave            | 212          | 37 51     | 63 01      |
| Tres Arroyos         | 115          | 38 23     | 60 16      |
| Pigüé                | 304          | 37 37     | 62 25      |
| Balcarce             | 130          | 37 45     | 58 18      |
| Barrow               | 120          | 38 19     | 60 15      |
| Sierra de la Ventana | 250          | 38 08     | 61 47      |
| López Juárez         | 233          | 37 32     | 59 34      |
| Tandil               | 175          | 37 14     | 59 15      |

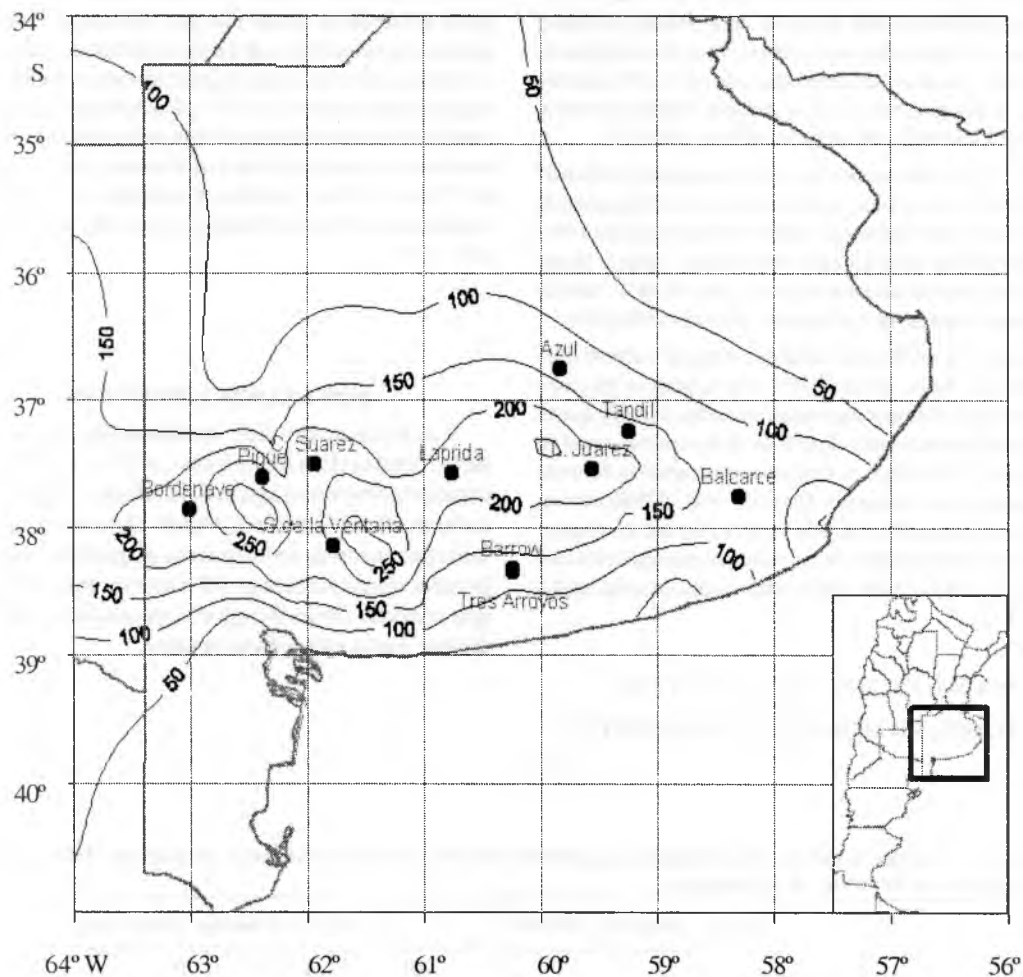


FIGURA 1. Carta altimétrica de la región bonaerense considerada.

Para determinar si las temperaturas calculadas para estos puntos auxiliares debieran ser corregidas para asimilarlas a las del período treintaial de análisis, se realizó un cotejo entre las  $T_e$  y  $T_j$  de las estaciones meteorológicas con información en ambos períodos, 1941/50 y el promedio 1961/90.

Solamente cuatro de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio registran observaciones com-

pletas en el período 1941/90: Azul, Pigüé, Tres Arroyos y Coronel Suárez. Las tres primeras tuvieron, en distintos años, un cambio de ubicación por el traslado a un lugar más despejado, con cambio también de altitud en el caso de Pigüé; en la restante no hay constancia de cambio. Esta circunstancia está indicando que no hay suficiente calidad de información como para deducir si se deben o no corregir los valores dados por De fina y Sabella.

Atendiendo a los valores existentes, e ignorando los cambios, Azul y Pigüé muestran una disminución de 0,2 y 0,5 °C en la temperatura media de enero entre ambos períodos, mientras que no hay diferencia en las otras dos localidades, lo que daría una disminución mediana de -0,1 °C. Para el mes de julio, en cambio, las cuatro localidades indican aumentos entre 1 y 4 décimas, con un promedio de + 0,25 °C.

Estos valores de variación en las temperaturas medias de enero y julio concuerdan con las diferencias lógicas en la extensión de los períodos con las tendencias medianas 1941/90 determinadas para la Región Pampeana, a saber, de 0,0 °C cada 10 años para el mes de enero, y de + 0,14 °C cada 10 años para el mes de julio (Pascale y Damario, 1943-44).

Como se realizó en los estudios anteriores sobre el mismo tema, las "horas de frío" (HF) acumuladas en los cinco meses de menor temperatura mínima media, lapso en que se supone se puede cumplir el período de dormición anual de estas especies frutales, se computaron usando la fórmula estimatoria desarrollada por Damario *et al.* (1998), consistente en una ecuación con dos valores climáticos, a saber, el promedio de las temperaturas mínimas medias de los cinco meses (T5) y el valor de la temperatura mínima media anual (T12).

$$HF = 3954,044 + 130,7831 (T5) - 511,3522 (T12) - 21,9695 (T5 \times T12) + 5,9973 (T5)^2 + 24,2979 (T12)^2 \quad (1)$$

Para poder aplicar esta fórmula estimatoria a los puntos auxiliares, de los cuales se conoce solamente  $T_e$  y  $T_j$ , y con el interés de desarrollar una fórmula de aplicación general para el cómputo de las horas de frío de toda el área, se investigó la relación que esas temperaturas medias mensuales mantienen con T5 y T12 en la información de las 11 estaciones meteorológicas. Procesado con esta nueva fórmula todo el material térmico disponible, se trazó la carta de "horas de frío", usando el sistema de información cartográfica cilíndrica (Moreator) incluido en el software surfer 7.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las horas de frío, HF, resultantes de la aplicación de la fórmula (1) a los valores de T5 y T12 de las 11 estaciones meteorológicas del Cuadro 1, figuran en la columna 9 del Cuadro 2. Puede observarse la excelente provisión de enfriamiento disponible y además la reducida diferencia en HF entre las localidades, lo que concede a toda la región similar calidad, en lo referente a este índice bioclimático.

CUADRO 2. Valores térmicos observados en el período 1961/90 y valores térmicos y de horas de frío calculados por las diversas fórmulas de estimación.

| Localidad              | Altitud<br>m | Valores observados 1961/90 |           |                      |                      | Valores calculados con fórmula |            |          |          |             |          |             |  |
|------------------------|--------------|----------------------------|-----------|----------------------|----------------------|--------------------------------|------------|----------|----------|-------------|----------|-------------|--|
|                        |              | T5<br>°C                   | T12<br>°C | T <sub>e</sub><br>°C | T <sub>j</sub><br>°C | III                            |            | I        | II       |             | IV       |             |  |
|                        |              |                            |           |                      |                      | T12<br>°C                      | 4 - 8<br>% | HF<br>hs | HF<br>hs | 9 - 10<br>% | HF<br>hs | 9 - 12<br>% |  |
| 1                      | 2            | 3                          | 4         | 5                    | 6                    | 7                              | 8          | 9        | 10       | 11          | 12       | 13          |  |
| 1 Azul                 | 132          | 3,4                        | 7,8       | 21,1                 | 7,3                  | 7,91                           | 1,41       | 1.365    | 1.368,7  | 0,27        | 1.349,3  | 1,15        |  |
| 2 Coronel Suárez       | 234          | 2,8                        | 7,4       | 21,4                 | 6,3                  | 7,42                           | 1,08       | 1.450    | 1.443,8  | 0,43        | 1.440,1  | 0,68        |  |
| 3 Laprida              | 212          | 2,8                        | 7,3       | 21,4                 | 7,0                  | 7,45                           | 2,05       | 1.473    | 1.462,4  | 0,72        | 1.434,6  | 2,60        |  |
| 4 Bordenave            | 212          | 3,5                        | 8,4       | 22,2                 | 6,9                  | 8,25                           | 1,78       | 1.272    | 1.258,4  | 1,07        | 1.286,6  | 1,12        |  |
| 5 Tres Arroyos         | 115          | 4,4                        | 8,5       | 21,3                 | 7,3                  | 8,43                           | 0,35       | 1.233    | 1.239,9  | 0,01        | 1.252,8  | 1,60        |  |
| 6 Pigüé                | 304          | 2,9                        | 7,7       | 20,9                 | 6,5                  | 7,68                           | 0,26       | 1.390    | 1.388,2  | 0,13        | 1.391,9  | 0,14        |  |
| 7 Balcarce             | 130          | 4,3                        | 7,9       | 21,0                 | 7,5                  | 7,84                           | 0,76       | 1.342    | 1.351,1  | 0,68        | 1.362,3  | 1,51        |  |
| 8 Barrow               | 120          | 3,2                        | 7,5       | 20,5                 | 7,1                  | 7,53                           | 0,40       | 1.430    | 1.425,3  | 0,33        | 1.419,7  | 0,72        |  |
| 9 Sierra de la Ventana | 250          | 2,8                        | 7,8       | 21,7                 | 8,0                  | 7,85                           | 0,64       | 1.358    | 1.369,7  | 0,86        | 1.360,4  | 0,18        |  |
| 10 López Juárez        | 233          | 2,9                        | 6,8       | 20,7                 | 6,7                  | 6,77                           | 0,44       | 1.554    | 1.550,1  | 0,25        | 1.560,7  | 0,43        |  |
| 11 Tandil              | 175          | 3,6                        | 7,7       | 21,2                 | 6,9                  | 7,54                           | 2,08       | 1.378    | 1.388,2  | 0,74        | 1.417,9  | 2,90        |  |

Como se dijo, la aplicación de la fórmula (I) a todos los puntos auxiliares presenta la dificultad de no conocer sus T5 y T12. Para superarla, como primer paso se analizó en la información de las estaciones meteorológicas la relación que manifiestan T5 y T12 con Te, Tj y Alt, calculando las correlaciones simples de esos cinco parámetros entre sí y con las HF.

El Cuadro 3 muestra que la correlación entre T12 y las HF es mayor que la existente entre T5 y HF, explicable si se advierte el mayor valor de los coeficientes que le corresponden a T12 en la fórmula de estimación, lo que significa que variaciones en un grado en más o en menos de cualquier valor de T5, repercute poco en la cantidad de HF, en cambio, si es T12 la que cambia, habrá una variación grande de las HF. Estas consideraciones llevaron a continuar el análisis, cuantificando la relación entre ambos valores, T12 y HF, con la siguiente ecuación de regresión:

$$HF = 2815,966896 - 185,4216115 T12 \quad (II)$$

Los valores de HF obtenidos con esta ecuación (columna 10 del Cuadro 2) mantiene con los calculados con la fórmula (I) un coeficiente de correlación  $r=0,994$  xx.

El paso siguiente consistió en analizar la relación que, mantiene T12 con Te, Tj y Alt, dentro de la infor-

mación de las estaciones meteorológicas, para poder posteriormente calcular las HF de los puntos auxiliares. A través de una serie de regresiones simples y múltiples pudo llegarse a la siguiente regresión cuadrática:

$$T12 = Te - 9,12894703 - 0,04408 Alt + 0,000100775 Alt^2 \quad (III)$$

Con estos nuevos valores estimados de T12 (siempre usando la información de las estaciones meteorológicas) se calcularon las horas de frío mediante la fórmula II, obteniéndose las cifras de la columna 12 del cuadro, las cuales mantienen con las de la columna 9 una correlación  $r=0,974$  xx, y una máxima diferencia porcentual de 2,9 la que, en términos de HF, sólo significa unas 40 horas.

Conprobada así, la bondad estimatoria de las fórmulas II y III, se aplicaron para calcular las horas de frío de todos los puntos auxiliares.

CUADRO 3. Coeficientes de correlación lineal entre los valores térmicos, de altitud y de horas de frío observadas en el período 191/90 en las estaciones meteorológicas del Cuadro 1.

|      | T5  | T12     | Te    | Tj    | Alt.     | HF        |
|------|-----|---------|-------|-------|----------|-----------|
| T5   | --- | 0,681 x | 0,012 | 0,343 | -0,733 x | -0,691 x  |
| T12  |     | ---     | 0,545 | 0,376 | -0,346   | -0,995 xx |
| Te   |     |         | ---   | 0,170 | 0,068    | -0,590    |
| Tj   |     |         |       | ---   | -0,402   | -0,425    |
| Alt. |     |         |       |       | ---      | 0,725 x   |
| HF   |     |         |       |       |          | ---       |

x: significativo; xx muy significativo.

Previamente, ambas fórmulas II y III se redujeron a una sola, simplificando los coeficientes:

$$HF = 4508,671 - 185,4216 Te + 8,175 Alt - 0,0187 Alt^2 \quad (IV)$$

De acuerdo a lo expresado en Material y Método, a los valores de  $T_e$  de los puntos auxiliares, no se les aplicó ninguna corrección. Además, de acuerdo a la fórmula IV, alguna pequeña corrección, por ejemplo, de  $-0,1^\circ\text{C}$ , ocasionaría solamente una diferencia insignificante en las HF estimadas.

Procesada con esta metodología toda la información disponible, se trazó la carta de HF de la Figura 2.

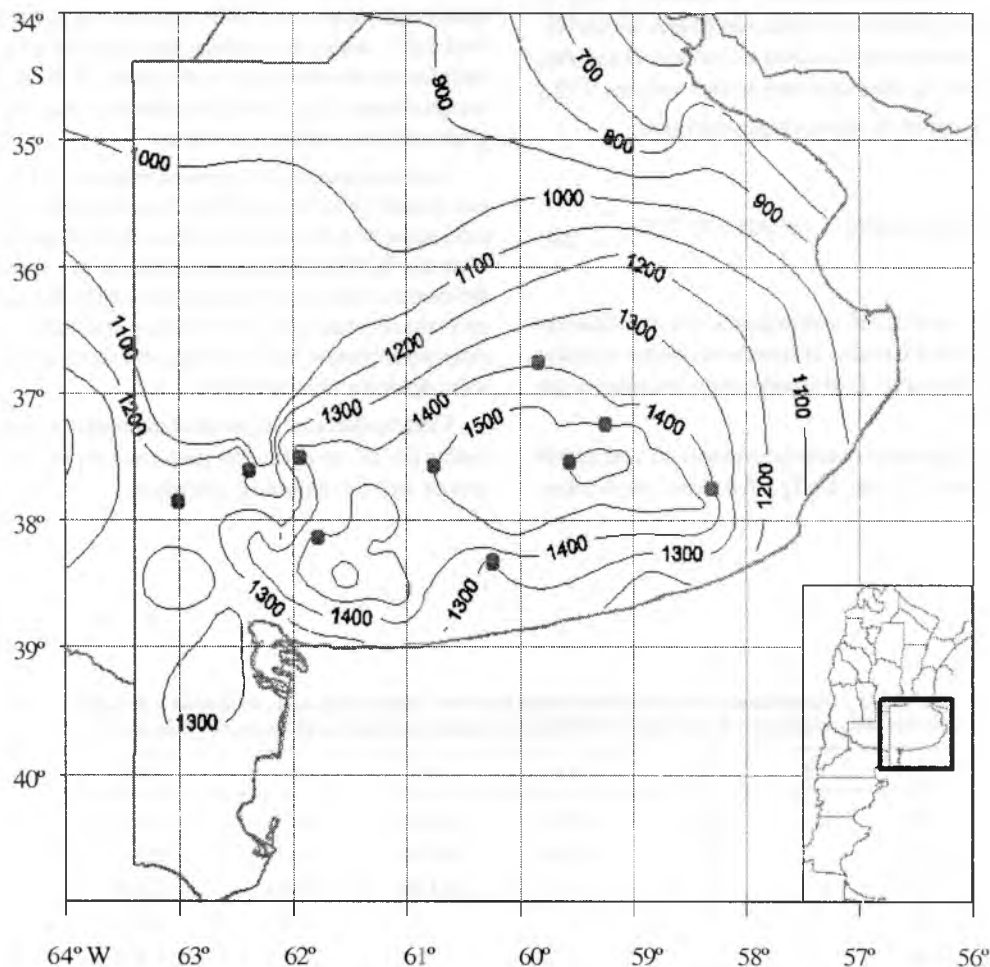


FIGURA 2. Carta agroclimática de "horas de frío" en el subperiodo de descanso fenológico de frutales criófilos.

El valor de las HF que la carta asigna a las localidades nominadas, no coincide totalmente con las indicadas en la columna 9 del Cuadro 2, porque el programa de información geográfica citado promedia muchos puntos auxiliares, pudiendo diferir del puntual de cada estación meteorológica.

Comparando esta carta con la de horas de frío efectivas para todo el país mencionada anteriormente, la cual fue trazada usando solamente información de estaciones meteorológicas, es posible advertir cómo la utilización de una información más numerosa provista por los puntos auxiliares permite incorporar isocriolneas para otros valores de HF y, por supuesto, obtener un trazado más detallado y ajustado a la realidad.

Resulta interesante comparar esta carta con la trazada, con poco detalle, para la Pradera Pampeana sobre información climática 1941/60 (Damario y Pascale, 1988), para comprobar la casi igualdad en las trayectorias de las isolíneas de 1.200, 1.400 y de las dos áreas circulares con un máximo de 1.600 HF, lo que está indicando que desde el punto de vista del enfriamiento bioclimático, las condiciones térmicas invernales en esta región serrana de la provincia de Buenos Aires no tuvieron mayor variación en los últimos sesenta años del siglo pasado.

## CONCLUSIONES

La utilización de una información climática especialmente más abundante que la provista por las estaciones meteorológicas oficiales, permite conceder mayor detalle al trazado de las isolíneas de horas de frío en la respectiva carta agroclimática.

La carta de horas de frío de la región del centro-sud de la provincia de Buenos Aires que comprende los sistemas serranos de la Ventana y de Tandil, trazada con el uso de información adicional, detalla con mayor realidad, la trayectoria de las isolíneas siguiendo, no solamente las diferencias de altitud dentro del área, sino también las diferencias térmicas zonales. Se confirma que esta región está caracterizada por la existencia de un invierno con condiciones térmicas favorables para la acumulación de una importante cantidad de horas de frío capaces de satisfacer, con holgura, las exigencias de la mayor parte de especies y cultivares frutales caducifolios, cuyo cultivo comercial, posiblemente no se haya desarrollado por otros factores, entre ellos, la escasa profundidad del suelo en la mayor parte del área.

Dentro de la zona con altitudes mayores a los 200 metros, se acumulan entre 1.300 y 1.600 horas de frío durante el subperíodo de descanso fenológico de estos frutales, lo que aseguraría un buen nivel de "enfriamiento" bioclimático para años futuros, aun cuando pueda suceder cierta reducción como consecuencia del pronosticado aumento de la temperatura mínima (Pascale y Damario, 1999).

## BIBLIOGRAFÍA

- ALTUBE, H.A.; L.A. SANTINONI y H.J. ALEM. 2007. Regiones frutícolas argentinas. *In: Árboles frutales, ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Ed.G.O. Sozzi, Editorial Facultad de Agronomía UBA 848 p.
- ARGENTINA-SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1958/1992 - Estadísticas climatológicas varias, (B1.Nº 3, 1958; BI Nº 6, 1965; B. Nº 35, 1981; B. Nº 36, 1986; B.Nº 37, 1992).
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1988. Características agroclimáticas de la Región Pampeana Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía* 9(1-2): 41-64. Buenos Aires.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1995. Nueva carta agroclimática de "horas de frío" de la Argentina, *Rev.Fac. de Agronomía* 15(2-3): 219-225. Buenos Aires.
- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE y C.A. BUSTOS. 1998. Método simplificado para la estimación de "horas de frío" anuales. *Rev.Fac. de Agronomía* 18(1-2): 93-98. Buenos Aires.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1999. Carta agroclimática de la región serrana de la provincia de Córdoba. *AgriSciencia* 16: 17-28.

- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE y R.HURTADO. 2007. Frío invernal disponible para frutales criófilos en la Región de Cuyo, Argentina. *Rev.Fac.de Agronomía* 27(1): 83-95. Buenos Aires.
- DE FINA, A.L. y L.J.SABELLA. 1970. Difusión geográfica de cultivos índices en la provincia de Buenos Aires y sus causas. (1ra. parte), *INTA-Suelos Publ.* (116), 10, 7 mapas.
- 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* 14(2): 127-138. Buenos Aires.
- PASCALE, A.J. y E.A.DAMARIO. 1997. Disponibilidad agroclimática estimada de "horas de frío" hacia el año 2050 en la Argentina. 7ma. Reunión Argentina y 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. *Revista Argentina de Agrometeorología* 1(2): 13-20.