



DISPONIBILIDAD DE HORAS DE FRÍO PARA LA LOCALIDAD DE RAFAELA (SANTA FE, ARGENTINA): MODELOS DE ESTIMACIÓN

MARÍA SOLEDAD GARCÍA¹; PERLA E. LEVA²; SILVIA E. VALTORTA³;
NORBERTO GARIGLIO⁴ y LUCAS GONZÁLEZ⁵

Recibido: 00/00/00

Aceptado: 00/00/00

RESUMEN

El objetivo fue estimar la disponibilidad de frío y comparar las horas de frío estimadas (HFe) por distintos métodos, con el número real de horas por debajo de 7,2 °C (HFr), registradas entre 1971-2003 en la Estación Experimental Agropecuaria (INTA) Rafaela (31°11' S; 61°33' W; 100 msnm). Con los registros del termohigrógrafo, se computaron las HFr diarias, durante el período entre mayo 1, 1971 y septiembre 30, 2003. Utilizando los modelos de Weimberger, Da Mota, Crossa-Raynaud, Sánchez-Capuchino, Sharpe, y Parton y Logan, se estimaron las HFe anuales. Las HFr promedio fueron 537h. Las HFe fluctuaron entre 463 y 841h, dependiendo del modelo. Los modelos que presentaron buen ajuste fueron Crossa-Raynaud ($R^2:0,91$), Sánchez-Capuchino ($R^2:0,91$) y Parton y Logan ($R^2:0,85$). El modelo con menor error estándar fue Sánchez Capuchino (38,2). Los modelos con altos coeficientes de determinación resultan útiles para estimar HF para la localidad de Rafaela y su área de influencia.

Palabras clave. Horas de frío, estimación.

HOURS OF COLD FOR RAFAELA (SANTA FE, ARGENTINA): ESTIMATION MODELS

SUMMARY

The objective was to estimate the hours of cold (HC), and to compare the HC estimated by different methods (HCe) to the actual hours below 7.2 °C (HCa) recorded during the period 1971-2003, at INTA Rafaela Experimental Station (31°11' S; 61°33' W; 100m.a.s.l.). Daily thermohygrograph data for the period between May 1st 1971 and September 30th 2003, were utilized to compute HCa. Annual HCe were estimated by different models: Weimberger, Da Mota, Crossa-Raynaud, Sánchez-Capuchino, Sharpe and Parton and Logan. Average HCr were 537 h. HCe fluctuated between 463 and 841h, depending on the model. The models presenting good adjustment were Crossa-Raynaud ($R^2 = 0.91$), Sánchez-Capuchino ($R^2 = 0.91$) and Parton and Logan ($R^2 = 0.85$). Sanchez-Capuchino was the model showing the lowest standard error (38.2h). The models presenting high determination coefficients are useful to estimate HC for Rafaela and its surroundings.

Key words. Chilling hours, estimation.

INTRODUCCIÓN

La aptitud agroclimática para la fruticultura de una región depende, en gran medida, de su régimen térmico y, en particular, de las características que

adquiere este durante el período de dormición de los árboles frutales caducifolios (Rodríguez *et al.*, 1983).

En climas templados, el período de dormición o reposo se inicia a finales del otoño (Calderón, 1983) y se caracteriza por la supresión temporal del creci-

.....FALTA PIE DE AUTORES ?

miento visible de cualquier estructura de la planta que contenga meristemo (Lang, 1996).

Se ha comprobado que las yemas de las plantas que están en un estado de dormición profunda (endormición), no salen del mismo hasta tanto no hayan experimentado suficiente cantidad de frío invernal (Tabuena, 1965).

Si la acumulación de frío durante el reposo invernal es deficiente, se producen una serie de desórdenes fisiológicos, que afectan negativamente la producción de los frutales (Gariglio *et al.*, 2006).

Esta exigencia en bajas temperaturas, conocida como exigencia en frío o exigencia en enfriamiento, se cuantifica por dos índices: las horas de frío (HF) y las unidades de enfriamiento (UF) (Damario y Pascale, 2004).

En la Argentina, la expansión del cultivo de frutales ha estado condicionada principalmente por dos aspectos térmicos. La suavidad del invierno, lo cuál obligó a ubicar en el sur del país a los cultivos más exigentes en enfriamiento y el riesgo de daños por heladas primaverales que ello implica (Damario y Pascale, 1998).

Sin embargo, la labor fitotécnica desarrollada sobre los frutales caducifolios ha logrado producir cultivares con menor exigencia en frío invernal, lo que ha permitido la expansión de cultivo hacia áreas con reducidas disponibilidades agroclimáticas en HF (Damario y Pascale, 2004).

Santa Fe dedica cerca de 400 ha a la producción de duraznos (*Prunus persica* L. Batsch), de las cuales cerca de 50 ha se localizan en la zona centro-oeste de la provincia representando una producción aproximada de 340 t anuales (MAGIC, 2003).

En los últimos años, han comenzado a implantarse pequeñas superficies de este cultivo en la zona central de la provincia, en torno a la localidad de Rafaela. Este desarrollo incipiente del cultivo no fue acompañado por esfuerzos para caracterizar la zona en cuanto a la disponibilidad de frío posible de acumular (Gariglio *et al.*, 2006).

Existen publicaciones que estiman las HF y UF disponibles para otros lugares específicos, como por ejemplo: Córdoba (Rodríguez *et al.*, 1983), Estado de Río Grande Do Sul (Damario *et al.*, 2006), Región serrana de Córdoba (Pascale y Damario, 2004) y Noroeste de la Argentina (Pascale, y Damario, 2004).

Sin embargo, la determinación de HF y UF tropieza con ciertas dificultades, debido a la falta de registros y observaciones horarias de la temperatura del aire. Por tal motivo se han desarrollado métodos que basándose en datos de registros comunes (temperaturas máximas y mínimas diarias, temperaturas medias diarias), permiten evaluar con cierto grado de precisión el cómputo de horas de frío (Rodríguez *et al.*, 1983).

Algunos de estos métodos son más exactos que otros o son más parecidos a la realidad de una zona, por lo que es importante seleccionar el más apropiado.

El objetivo del presente trabajo fue estimar la disponibilidad de frío en la localidad de Rafaela y comparar las horas de frío estimadas (HFe) por distintos métodos, con el número real de horas por debajo de 7,2 °C (HFr), registradas en dicha localidad.

MATERIALES Y METODOS

Los datos de temperatura del aire utilizados corresponden a la Estación Experimental Agropecuaria (INTA) Rafaela (31° 11' S; 61° 33' W, 100 msnm).

Con los registros del termohigrógrafo se computó, día a día, durante el período comprendido entre el 1 de mayo de 1971 y el 30 de septiembre de 2003, la cantidad de HF acumuladas (HFr), es decir, el número de horas en las cuales la temperatura del aire fue de 7 °C o inferior a dicho nivel (Nightingale y Blake, 1934).

A través de estadísticos simples, se analizaron las horas de frío mensuales (HFm).

A partir de los valores de temperaturas medias pertenecientes a los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, se calculó el valor de las horas de frío acumuladas (HFe) mediante el método de Weimberger (1954) (1), Sharpe (1970) (2), y Da Mota (1996) (3).

- (1) $HF = 2139,39 - 129,91 x$
HF = Horas de frío; x = temperatura media de las medias de los meses de junio y julio
- (2) $Y = 638 - 33,007 x$
HF = ΣY
Y = Horas de frío mensual; x = temperatura media mensual del mes considerado (mayo, junio, julio, agosto y septiembre)

$$(3) \quad Y = 485,1 - 28,52 x$$

$$HF = SY$$

Y = Horas de frío mensual; x = temperatura media mensual del mes considerado (mayo, junio, julio, agosto y septiembre)

Con los valores diarios de temperaturas máximas y mínimas para la misma serie y localidad, se calcularon las horas de frío (HFe) disponibles a través de las fórmulas de Crossa-Reynaud (1956) (4), Sánchez Capuchino (1967) (5) y Parton y Logan (1989). Para la estimación de las HFe según este último autor, se utilizó un software que deduce las mismas a partir de la simulación de la marcha de la temperatura horaria (Alonso *et al.*, 2001).

$$(4) \quad hf = 24 [(7-m)/(M-m)]$$

$$HF = \sum hf$$

M = Temperatura máxima diaria; m = temperatura mínima diaria

hf = horas de frío acumuladas en un día

HF = horas de frío acumuladas durante los meses considerados (mayo, junio, julio, agosto y septiembre)

$$(5) \quad hf = 36 [(7-m)/(M-m)]$$

$$HF = \sum hf$$

M = Temperatura máxima diaria; m = temperatura mínima diaria

hf = horas de frío acumuladas en un día

HF = horas de frío acumuladas durante los meses considerados (mayo, junio, julio, agosto y septiembre)

Para estudiar la relación funcional entre las HFe por los distintos métodos y las HFr, se realizó un análisis de regresión simple (Infostat, 2008), determinándose la capacidad predictiva de los modelos a través del coeficiente de determinación R^2 .

La elección del método de estimación se basó en la comparación e interpretación de los estadísticos estimados y el error estándar del modelo (EE).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Horas de frío reales

• Anuales

En todos los años de la serie se registraron temperaturas por debajo de 7 °C.

El promedio anual de HFr para la localidad y serie analizada es de 537 HFr con un CV 24 (%). Este valor coincide con el estimado por Damario *et al.* (2004, 2009), al realizar las cartas de horas de frío de la República Argentina mediante el método gráfico.

Los valores mínimos y máximos se registraron en 1986 (309 HFr) y 1988 (768 HFr), respectivamente.

La disponibilidad de HF para la localidad de Rafaela permite la implantación de cultivares de bajas exigencias en frío (Gariglio *et al.*, 2006). Sin embargo, al momento de elegir una determinada variedad en base a este requerimiento, se debe tener presente la variabilidad interanual de la temperatura característica del clima de la región en estudio (Koppen, 1931).

• Mensuales

La distribución de las horas de frío a lo largo del año, se concentran en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Este último mes según Damario *et al.* (2008) y Damario y Pascale (2009) no debería incluirse para contabilizar horas de frío acumuladas, dado que septiembre presenta temperaturas favorables para el despertar de los cultivares actualmente utilizados. Incluso, en las variedades de duraznero de bajos requerimientos de frío, la brotación ocurre entre el 4 y el 31 de julio (Gariglio *et al.*, 2009), por lo que en este cultivo solamente las temperaturas de mayo y junio son las que realmente deberían ser consideradas para la satisfacción de los requerimientos de frío. Sin embargo, para determinados cultivos implantados en la región centro de Santa Fe como manzanos, la contribución de agosto, e incluso de septiembre, son importantes (*com pers.* Gariglio, 2009).

Los estadísticos descriptivos de las horas de frío reales mensuales (HF_{rm}) se presentan el Cuadro 1.

Se destaca que en todos los años de la serie, se contabilizaron HF_{rm}.

Dentro del período en estudio el menor valor registrado se presentó en mayo del año 1974 (2 HF_{rm}) y el mayor en julio del 2000 (339 HF_{rm}).

De los cinco meses analizados, julio es el que posee media más alta (175 HF_{rm}) aportando el 32,5% del total acumulado.

CUADRO 1. Estadísticos descriptivos para las horas de frío reales mensuales (HFRm) de Rafaela. (Serie 1971-2003).

HFRm	Media	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
Mayo	57	75	2	157
Junio	140	46	20	292
Julio	175	40	59	339
Agosto	114	36	41	183
Septiembre	53	50	8	98

En cuanto al aporte de HFRm le siguen los meses de junio (140 HFRm) y agosto (114 HFRm), presentando este último la menor variabilidad del grupo (CV: 36%).

Los meses de mayo (57 HFRm) y septiembre (53 HFRm) aportan el 20% de las horas anuales, siendo sus coeficientes de variación los más elevados (75% y 50%, respectivamente).

b) Estimación de horas de frío

Las HFe para la localidad de Rafaela durante el período 1971-2003, variaron considerablemente dependiendo del método utilizado (Cuadro 2).

Realizado el análisis de regresión, tres de los modelos analizados presentaron un buen ajuste en la región en estudio (Crossa y Raynaud, Sánchez Capuchino y Parton y Logan) (Fig. 1).

Los coeficientes de determinación (R^2) fueron de 0,91, 0,91 y 0,85, respectivamente.

De los tres métodos, el que menor EE arrojó fue el de Sánchez Capuchino (38,2). Dicho modelo fue desarrollado para una región del mismo tipo climático que la localidad en estudio (Kooppen, 1931).

El modelo de estimación de Parton y Logan, ampliamente utilizado en la Región Pampeana (Alonso *et al.*, 2001), presentó un EE de 57.

En general, estos modelos requieren datos diarios de temperatura del aire (máxima y mínima). Esto explicaría su buena estimación en la localidad de Rafaela. Sin embargo, dichos parámetros térmicos son difíciles de conseguir en algunas regiones. Dentro de los métodos que utilizan las temperaturas medias mensuales para estimar las HFe, el que presentó menor EE fue Da Mota (67), aunque su R^2 es inferior a 0,75.

CUADRO 2. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFR) y estimadas (HFe) por distintos métodos para Rafaela. (Serie 1971-2003).

	Media	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
HFR	537	24	246	700
HFe (Weimberger)	616	22	373	885
HFe (Da Mota)	515	20	254	755
HFe (Sharpe)	841	12	600	1.098
HFe (Parton y Logan)	515	25	238	807
HFe (Crossa y Raynaud)	463	23	202	720
HFe (Sánchez Capuchino)	695	23	303	1.080

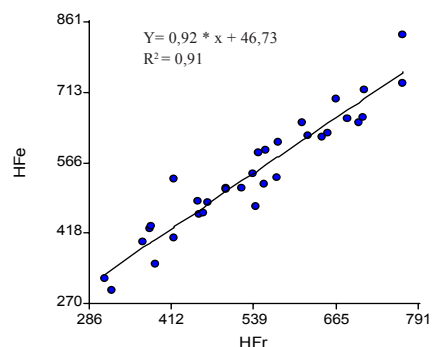
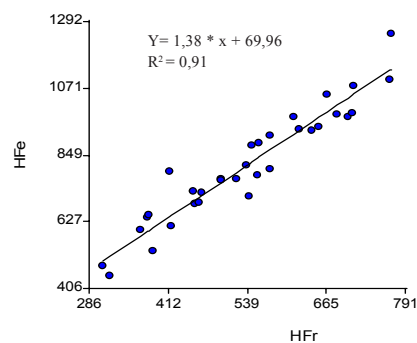
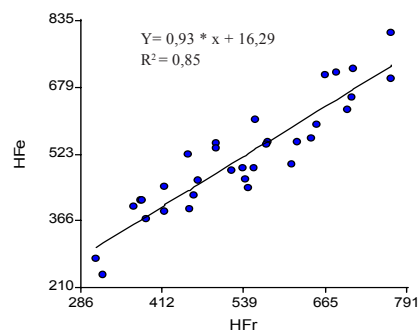
Relación HFr y HFe por Crossa Raynaud**Relación HFr y HFe por Sánchez Capuchino****Relación entre HFr y HFe por Parton y Logan**

FIGURA 1. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sánchez Capuchino, Crossa y Raynaud y Parton y Logan.

Trabajos realizados por Gariglio *et al.* (2006), sobre la acumulación de horas de frío para la zona centro-oeste de Santa Fe, informaron que los métodos que mejor ajuste presentaron fueron Sánchez-Capuchino y Da Mota. Sin embargo, Gil-Albert, (1989) considera que las metodologías utilizadas por Da Mota y Weimberger son poco fiables en zonas templado-cálidas de alta insolación como es el caso de la localidad de Rafaela.

CONCLUSIONES

La disponibilidad de frío presente en la región (537 horas de frío) no representaría un factor limitante para el buen comportamiento vegetativo y productivo de cultivares de bajos requerimientos de frío.

Teniendo en cuenta las estimaciones y comparaciones realizadas, los modelos de, Crossa Raynaud, Sánchez Capuchino y Parton Logan, resultan útiles para estimar las horas de frío en Rafaela y área de influencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO M.R.; R.O. RODRÍGUEZ y S.G. GÓMEZ. 2001. La utilización de las temperaturas máxima y mínima diarias para la estimación de la disponibilidad de horas de frío. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 21(3): 261-264.
- CALDERÓN, F. 1983. Fruticultura general. Limusa. Barcelona. 779p.
- CROSSA-RAYNAUD, P. 1956. Effects des hivers doux sur le comportement des arbres fruitiers a feuilles caduques. *Ann. Serv. Bot. Agron.* 29: 1-22.
- DAMARIO, A.; A.J. PASCALE y C. BUSTOS. 1998. Método simplificado para la estimación agroclimática de Horas de frío anuales. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 18: 93-97.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 2009. Carta de Horas de Frío 1971-2000 de la Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 29(1): 55-58.
- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE y A. BELTRÁN. 2006. Disponibilidad de Horas de Frío en el Estado de Río Grande Do Sul. *En: Congresso Brasileiro De Agrometeorologia, 11, Reunião Latino-Americana De Agrometeorologia, 1999. Florianópolis: 228 p.*
- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE y R.O. RODRÍGUEZ. 2008. Nueva fórmula para la estimación agroclimática de las horas de frío. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 28(2-3): 139-144.
- GARIGLIO, N.; V.L. DOVIS; P.E. LEVA; M.S. GARCÍA y C.A. BOUZO. 2006. Acumulación de Horas de Frío en la zona centro-oeste de Santa Fe (Argentina) para frutales caducifolios. *Horticultura Argentina*. 25(58): 26-32.
- GARIGLIO, N.; M. MENDOW; M. WEBER; M.A. FAVARO; D. GONZÁLEZ-ROSSIA and R.A. PILATTI. 2009. Phenology and reproductive traits of peaches and nectarines in central-east Argentina. *Revista Scientia Agrícola* 66(6): 757-763.
- GIL-ALBERT, F. 1989. Tratado de arboricultura frutal. Vol II: La ecología del árbol frutal. 2ª edición. Mundi-Prensa, Madrid, España. 236 p.
- INFOSTAT. 2006. Software estadístico. Estadística y Diseño F.C.A. Universidad Nacional de Córdoba.
- KÖPPEN, W. 1931. Grundriss der Klimakunde. Walter de Gruyter & Co., Berlin. 388 p.
- LANG, G.A. 1996. Plant Dormancy: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. CAB International. Wallingford, Oxon, Reino Unido. 386 p.
- MAGIC. 2003. Estadísticas de producción de frutas y hortalizas. Portal del gobierno de la provincia de Santa Fe. URL: <http://www1.santafe.gov.ar/index.php/user/content/view/full/3598>. Leído el 27 de agosto del 2009.
- NIGHTINGALE, G.T. and M.A. BLAKE. 1934. Effect of temperature on the growth and metabolism of Elberta peach trees with notes on the growth responses of other varieties. *N. Jersey Agr. Exp. Sta. Bull.* 567.
- PARTON H.J. and J.A. LOGAN. 1989. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agric. Met.* 23: 205-216.
- PASCALE A.J y E.A. DAMARIO. 2004. Bioclimatología agrícola y Agroclimatología. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. 550 p.
- RODRÍGUEZ, R.A.; G.E. EDREIRA y N. BLANCH DE BONGIOVANNI. 1983. Estudio de distintos métodos de estimación de horas de frío, y su comparación con el cómputo real de las mismas obtenidas en Córdoba. *Revista Ciencias Agropecuarias* IV: 31-40.
- SÁNCHEZ-CAPUCHINO, J.A. 1967. Contribución al conocimiento de necesidades en frío invernal de variedades frutícolas (I, II, y III). *Levante Agrícola*.
- SHARPE, R.H. 1970. Sub-tropical peaches and nectarines. *Fla. State Hort. Soc.* 82: 302-306.
- TABUENCA, M.C. 1965. Influencia del clima en los frutales. CSIC. Estación experimental de Aula Dei. Zaragoza. 297 p.
- WEIMBERGER, J.H. 1954. Effect of high temperature during the breaking of the rest of 'Sullivan Elberta' peach buds. *Proceeding of the American Society of Horticultural Science* 63: 157-164.