

LA UTILIZACIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMA Y MÍNIMA DIARIAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE HORAS DE FRÍO

M.R. ALONSO; R.O. RODRÍGUEZ y S.G. GÓMEZ¹

Recibido: 07/11/01

Aceptado: 03/12/01

RESUMEN

Desde hace más de treinta años en la Argentina se dispone de cartas de horas de frío (HF), u horas por debajo de 7°C, confeccionadas sobre estimaciones basadas en "valores climáticos normales". La estimación diaria del número de horas de frío presenta la ventaja, sobre los métodos basados en valores climáticos, de poder conocer la variabilidad de este elemento bioclimático.

Se evaluaron dos métodos para la estimación de la cantidad de horas de frío utilizando las temperaturas máxima y mínima diarias. El primero asume una variación lineal de la temperatura entre la mínima y la máxima. El segundo se basó en el modelo de Parton y Logan para la marcha diaria de la temperatura. Ambos métodos fueron aplicados para la estimación del número de horas de frío en 10 observatorios de la Región Chaco-Pampeana-Litoral sobre la serie 1961-1998. El segundo método es el que presenta estimaciones más insesgadas, y en similares desviaciones típicas del error relativo medio.

Palabras clave. Horas de frío, métodos de estimación, variabilidad interanual.

USING MAXIMUM AND MINIMUM DAILY TEMPERATURES FOR THE ESTIMATION OF CHILLING HOURS

SUMMARY

The daily computation of chilling hours enables to know the variability of this bioclimatic element, which cannot be known from the climatic methods of estimation. Also makes possible to detect the presence of trends or fluctuations along the years. Two methods for the estimation of chilling hours based in the maximum and minimum daily temperatures were evaluated. The first one is a simple method assuming a linear variation of temperature along the day, used in the intermountain regions in the United States. The second one was derived from the model of Parton y Logan for the daily variation of temperature, based in a sin-truncated function and an exponential function for the temperature variation during the day and during the night respectively. Both methods showed about the same standard deviation of relative error, but the second presented least biased estimation of chilling hours.

Key words. chilling hours, estimation methods, interannual variability.

INTRODUCCIÓN

La cantidad de horas de frío (HF) acumuladas durante el período de descanso es el principal elemento biometeorológico regulador de la fenología y la producción de las especies frutales caducifolias. Desde hace más de treinta años se dispone en la Argentina de cartas de HF (horas por debajo de 7°C). Dada la relativa escasez de es-

taciones con registro de temperaturas de 24 horas, las mismas fueron confeccionadas sobre la base de "valores climáticos normales". Estas cartas tienen estrecha correlación entre HF y la temperatura mínima media de los cinco meses más fríos y la temperatura mínima media anual (Damario, 1969; Damario y Pascale, 1995). Con ese criterio también se han trazado cartas circunscriptas a regiones

¹Instituto de Clima y Agua – CNIA – INTA, Los Reseros y Las Cabañas s/n – 1712 Villa Udaondo – Castelar, Pcia. de Bs. As

específicas, como las sierras de Córdoba (Damario y Pascale, 1999) y el noroeste de la Argentina (Pascale *et al.*, 2001).

Tanto para el caso de las HF como para las "unidades de enfriamiento de Richardson" (Richardson *et al.*, 1974), se han evaluado además otros métodos, tales como los basados en la relación con las temperaturas medias mensuales, con la frecuencia media mensual de días con heladas, o considerando una modificación al cálculo agroclimático de sumas de temperaturas efectivas sobre distintas temperaturas base (Damario y Rodríguez, 1991), y el de la correlación con las temperaturas medias mensuales del invierno (Rodríguez *et al.*, 1983).

Las cartas obtenidas con los métodos indicados resultan útiles para señalar la disponibilidad media de frío o unidades de enfriamiento. Sin embargo, en determinadas circunstancias es necesario estimar la cantidad de HF o de unidades de enfriamiento que, en paso diario, se van acumulando en una campaña agrícola.

Además, el cálculo sobre valores diarios permite estimar la cantidad de HF acumuladas en cada uno de los años de la serie analizada. De este modo, se cuenta con una medida de tendencia central, de la dispersión y la frecuencia con que se puede esperar una determinada cantidad de HF en una localidad.

Por otra parte, con la disponibilidad de frío de cada año se puede conocer la evolución histórica de este elemento biometeorológico, permitiendo inferir si el mismo presenta tendencias, apreciar la magnitud de las fluctuaciones.

Dadas las temperaturas máxima y mínima diaria se puede recurrir a un modelo que estime la marcha

horaria de la temperatura y deducir del mismo el número de horas por debajo de 7 °C. De este tipo de modelo son los de (Mac Hallair, (1950), (Arnold, 1961), (Baskerville y Emin, 1969), (Aceituno, 1979), (Angelocci, *et al.*, 1979), (Parton y Logan, 1981).

El objetivo del presente trabajo es informar la evaluación de dos métodos de estimación de HF, utilizando solamente datos de temperatura máxima y mínima diaria. Esos métodos y otros no informados aquí fueron objeto de una presentación en la VIII Reunión de Argentina Agrometeorología, Mendoza, Argentina. (Alonso, *et al.*, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos métodos para la estimación de la cantidad de HF correspondiente al lapso comprendido entre el 1 de abril y el 30 de setiembre sobre los datos de 11 estaciones de la red agrometeorológica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Para las mismas se contaba con las temperaturas máximas y mínimas diarias y también con el registro de horas por debajo de 7°C, obtenidas a partir de termogramas corregidos.

Las estaciones y años empleados se presenta en el Cuadro N° 1.

1) MÉTODO LINEAL

Se trata del método utilizado en la zona intermontana de Estados Unidos, para las estaciones que no cuentan con registro horario de la temperatura (Anderson y Seeley, 1992). Se asume una marcha lineal de la temperatura horaria y una diferencia de 12 horas entre la ocurrencia de la mínima y de la máxima.

Cuadro N° 1. Serie de años con registros de horas de frío en Estaciones Agrometeorológicas del INTA utilizadas para evaluar la precisión de los modelos.

| ESTACION | Lat. S | Long. W | Altitud (m) | Años |
|--------------------------|--------|---------|-------------|-------------------------|
| Anguil (La Pampa) | 36°30' | 63°49' | 165 | 1991 |
| Balcarce (Buenos Aires) | 37°45' | 58°18' | 130 | 1991 a 1998 |
| Bella Vista (Corrientes) | 28°26' | 58°55' | 70 | 1993 |
| Castelar Buenos Aires) | 34°40' | 58°39' | 22 | 1992 a 1994 |
| El Colorado (Formosa) | 26°18' | 59°22' | 78 | 1991, 1992, 1994 |
| Oliveros (Santa Fe) | 32°33' | 60°51' | 26 | 1991 y 1994 |
| Paraná (Entre Ríos) | 31°50' | 60°31' | 110 | 1991 |
| Rafaela (Santa Fe) | 31°11' | 61°33' | 100 | 1991 |
| Rama Caída (Mendoza) | 34°40' | 68°23' | 692 | 1973 al 79, 1981 y 1982 |
| Reconquista (Santa Fe) | 29°11' | 59°42' | 42 | 1992 a 1994 |
| Zavalla (Santa Fe) | 33°01' | 60°53' | 50 | 1991 |

Se aplica la misma fórmula para el período desde la mínima hacia la máxima y para el período que va desde la máxima hacia la mínima, siendo la temperatura máxima la misma en ambos casos, mientras que son diferentes las temperaturas mínimas consideradas. Las horas de frío (HF) de un día se estiman:

$$HF(1) = 12 \times (7 - t_{min1}) / (t_{max} - t_{min1})$$

$$HF(2) = 12 \times (7 - t_{min2}) / (t_{max} - t_{min2}), y$$

$$HF = HF(1) + HF \quad (2)$$

$t_{min(1)}$ y $t_{min(2)}$ son las temperaturas mínimas anterior y posterior a la máxima. No se efectúa el cálculo en los casos en que la temperatura mínima es igual o superior a 7°C.

2) MÉTODO DE PARTON Y LOGAN

Parton y Logan(1981) presentaron un método que emplea una función seno truncada para modelar la marcha diaria de la temperatura, para el período diurno y una función exponencial para el período nocturno. Ecuaciones (1) y (2), respectivamente:

$$t_i = (t_{max} - t_{min1}) \cdot \text{seno}((\pi \cdot m) / (Y + 2 \cdot a)) + t_{min1} \quad (1)$$

y:

$$t_i = t_{min2} + (t_s - t_{min2}) \times \exp(-b \cdot n/z) \quad (2)$$

t_i : es la temperatura de la iésima hora contada a partir del momento de ocurrencia de la temperatura mínima (t_{min1}). Se determina sumando a la hora de salida del sol el parámetro c que indica el atraso en la ocurrencia del fenómeno.

t_{max} : es la temperatura máxima; t_{min1} y t_{min2} : son las temperaturas mínimas anteriores y posteriores a la máxima.

m : es el número de horas transcurridas desde la ocurrencia de t_{min1} hasta la iésima hora,

Y : es la duración del período diurno (hs) determinada en función de la fecha y la latitud

a : representa el retraso del momento de ocurrencia de la temperatura máxima con respecto al medio día y b es el exponente de la curva de enfriamiento exponencial durante la noche.

t_s : es la temperatura a la puesta del sol que se determina por la ecuación (1),

Z : es la duración del período nocturno (24-Y)

La ecuación (1) se aplica desde el momento de ocurrencia de la t_{min1} hasta la puesta del sol y la (2) desde la puesta del sol hasta la ocurrencia de la t_{min2} .

Estas dos ecuaciones pueden utilizarse para determinar el número de horas de frío a partir de los valores horarios estimados o adecuarse para el cálculo directo de la siguiente forma:

Operando con la ecuación (1)

$$m = (Y + 2 \cdot a) / \pi \cdot \text{arccoseno}((t_i - t_{min1}) / (t_{max} - t_{min1})) \quad (3)$$

Si la temperatura de 7°C está comprendida entre t_{max} y t_{min1} y se reemplaza en t_i , m es el número de horas desde la ocurrencia de la mínima hasta que se alcanzan los 7°C, vale decir, es el número de horas por debajo de esta temperatura en el período diurno.

En el caso de la ecuación (2)

$$n = Z/b \times \ln((t_s - t_{min2}) / (t_i - t_{min2})) \quad (4)$$

Nuevamente, si la temperatura de 7°C está comprendida entre t_{max} y t_{min2} y se reemplaza en t_i , se puede hallar n . En este caso n representa el número de horas desde la ocurrencia de la máxima hasta que se alcanza la temperatura de 7°C. Por diferencia con Z se obtiene el número de horas por debajo de 7°C.

Idealmente, el método debería haber sido parametrizado para la región en estudio, dado que los parámetros a , b y c pueden modificarse de un sitio a otro (Parton y Logan, 1981). Los valores empleados para los parámetros a y c fueron los ajustados por Parton y Logan, 1,86 y -0,17 respectivamente. El método resulta especialmente sensible al valor de b dado que la mayor parte de las HF se acumulan durante el período nocturno. El valor para el parámetro b era de 2,20. Se decidió entonces probar cuatro valores para b , que fueron: 1,9; 2,0; 2,1 y 2,2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se puede observar el error relativo medio en por ciento, más - menos su desviación típica

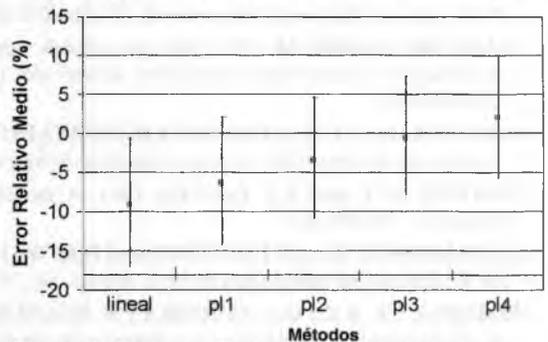


Figura 1. Error medio en por ciento más - menos su desviación típica para el método lineal y el método de Parton y Logan con $b = 1,9; 2,0; 2,1$ y $2,2$ (pl1 a pl4, respectivamente).

para el método lineal y para el modelo de Parton y Logan, empleando cuatro diferentes valores para el parámetro "b".

El primer método resulta muy atractivo por su simplicidad, si bien subestima en un 9 % la cantidad de HF para el lapso abril/setiembre.

El modelo de Parton y Logan con distintos valores para el parámetro b (barras 2, 3, 4 y 5) presenta

una desviación típica similar en los cuatro casos de alrededor del 8%, con una tendencia creciente en el error relativo medio, desde una subestimación de 6,31% para un valor $b=1,9$, hasta una sobreestimación de 2,0% para un valor $b=2,2$. Esto indicaría que en la región Chaco-Pampeana-Litoral sería más apropiado un valor $b=2,1$, cuya subestimación es de sólo 0,65%.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEITUNO, P. 1979. Statistical formula to estimate Heating or Cooling Degree-Days. *Agricultural Meteorology*, 20: 227-232.
- ALONSO, M.R.; S.G. GÓMEZ y R.O. RODRÍGUEZ. 2000. Estimación de la disponibilidad de horas de frío utilizando temperaturas máximas y mínimas diarias. Resumen en *Actas de la VIII Reunión Argentina de Agrometeorología*, Mendoza, Argentina, tema 5:63.
- ANDERSON, J.L. and S.D. SEELEY. 1992. Modeling strategy in pomology development of the Utah models. *Acta Horticulturae* 313:297-307.
- ANGELOCCI, L.R.; M.B.P. DE CAMARGO; M.J. PEDRO; A.A. ORTOLANI e R.R. ALFONSI. 1979. Estimativa do total de horas abaixo de determinada temperatura-base através das medidas diárias da temperatura do ar. *Bragantia*, Brasil, 38 (4):27-35.
- ARNOLD, C.Y. 1961. Maximum-Minimum temperatures as a basis for computing Heat Units. *American Society for Horticultural Science* 76: 682-699.
- BASKERVILLE, G.L. and P. EMIN. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology*, 50 (3):514-518.
- DAMARIO, E.A. 1969. Carta estimada de horas de frío de la República Argentina. *Rev. Fac. de Agronomía y Veterinaria*, Bs.As., 17 (2): 25-38.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1995. Nueva carta agroclimática de "horas de frío" en la Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía*, 15 (2-3):219-225.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1999. Cartas agroclimáticas de "horas de frío" en la serranía de la provincia de Córdoba. (Argentina). *AgriScientia*, 16:17-28
- DAMARIO, E.A. y R. RODRÍGUEZ. 1991. Métodos para estimar valores agroclimáticos de "unidades de frío". *Revista de la Facultad de Agronomía*, 12 (3) : 253-263.
- MARC HALLAIRE, M. 1950. Sur une méthode rapide de dépouillement horaire de la température à partir du minimum et du maximum journaliers. *Extrait des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*. 231:406-408.
- 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
- PARTON, W.J. and J.A. LOGAN. 1981. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agric. Meteorol.*, 23:205-216.
- RICHARDSON, E.A.; S.D. SEELEY and D.R. WALKER. 1974. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. *Hortic. Sci.*, 9 (4):331-332.
- RODRIGUEZ, A.R.; 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 de Ciencias Agropecuarias* 4:34-40.