

I. INTRODUCCIÓN	31
II. MATERIALES Y MÉTODOS	32
III. RESULTADOS	34
IV. CONCLUSIONES	38
V RESUMEN Y SUMMARY	39
VI BIBLIOGRAFÍA	39

ESTUDIO DE DISTINTOS METODOS DE ESTIMACION DE HORAS DE FRIO, Y SU COMPARACION CON EL COMPUTO REAL DE LAS MISMAS OBTENIDAS EN CORDOBA

A. R. RODRÍGUEZ, G. E. EDREIRA * y N. BLANCH DE BONGIOVANNI **

I. INTRODUCCION

El conocimiento de las disponibilidades de frío en una región constituye un parámetro agroclimático de gran importancia. Ello deriva del hecho de que dicha disponibilidad es una medida del grado de factibilidad de desarrollo de frutales "ciofilos" en la misma. 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 éste durante el período de dormición de los árboles frutales caducifolios.

El término "requerimiento de frío" se lo utiliza para definir la "longitud del período de bajas temperaturas durante el cual los órganos de dormición deben estar expuestos para eliminar los inhibidores internos del crecimiento", (Samish, 1962).

Se ha considerado 7°C como la temperatura límite superior óptima favorable para satisfacer los requisitos de frío (Nightingale y Blake, 1934; Chandler, 1937; Boynton, 1959; Hatch, 1967).

La determinación de las disponibilidades de frío en una región tropieza con ciertas dificultades, debido a la falta de registros y observaciones horarias de la temperatura del aire. Por tal motivo se han desarrollado

* Ings. Agrs. Prof. Tit. y Jefe de Trabajos Prácticos, respectivamente, de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

** Estadística, Profesora Adjunta, de la Cátedra de Estadística y Biometría de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

Recibido, 15 de Marzo de 1983, Aceptado, 4 de Mayo de 1983

métodos que basándose en datos de registros más comunes (temperaturas máximas y mínimas diarias, temperatura media diaria, etc.), permiten evaluar con cierto grado de precisión el cómputo de horas de frío.

La acumulación de horas de frío para Córdoba a través de la serie estudiada indicó que la misma dispone de un valor de 652 horas de frío por año, donde el 60 % de los años presentan más de 600 horas de frío, haciendo esto factible el normal cultivo de algunas especies criófilas.

En la práctica, la simple observación del comportamiento fenológico y fenométrico de dichos frutales, no concuerda con los resultados obtenidos, sino que, por el contrario es muy común advertir toda clase de anomalías fenológicas, propias de una insuficiente acumulación de horas de frío por parte de los vegetales.

El objetivo del presente trabajo es el de encontrar un método simple que adaptándose a las condiciones de Córdoba, pueda brindar un conocimiento lo más acertado posible respecto a su disponibilidad de horas de frío, aspecto éste de gran interés en la planificación y desarrollo frutícola de una región.

II. MATERIALES Y METODOS

Los datos de temperatura del aire empleados en este trabajo, corresponden a la Estación Climatológica Córdoba (Latitud 31° 24' S; Longitud 64° 11' W de G.; Elevación 425 m.s.n.m.) del Servicio Meteorológico Nacional, confiables en cuanto a la precisión de las observaciones y la veracidad de sus registros.

Se computó día a día, durante el período comprendido entre el 1° de mayo de 1937 y el 30 de setiembre de 1975, la cantidad de horas de frío acumuladas, es decir el número de horas en las cuales la temperatura del aire fue de 7°C o inferior a dicho nivel. Estos cómputos se efectuaron únicamente para los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre de cada año de la serie estudiada.

El estudio de dichas horas de frío para Córdoba fue analizado mediante seis métodos.

El primer método (Crossa-Raynaud, 1957) permite estimar las horas de frío diarias. En este caso se utiliza como umbral térmico el de 7,2°C.

Son necesarios para el cálculo los datos de temperatura del aire máxima y mínima. La fórmula propuesta es la siguiente:

$$H_f = \frac{7,2 - m_1}{M_1 - m_1} \times 24$$

donde:

7,2 : °C tomados como umbral.

M_1 : temperatura máxima diaria.

m_1 : temperatura mínima diaria.

Los datos empleados de temperaturas máximas y mínimas del aire fueron los correspondientes a junio, julio y agosto por tratarse del Hemisferio Sur.

El segundo método (F. S. Da Mota, 1957), tomó la temperatura media mensual como base para el cálculo del número de horas de frío. Se basó en los estudios y observaciones efectuadas por Markus (8) en Porto Alegre, quién encontró una correlación significativa ($r = -0,8039$) entre la temperatura mínima y la duración en horas del período frío. Con los mismos datos Da Mota calculó un coeficiente de correlación entre la temperatura media mensual y las horas de frío hallando un $r = -0,8640$ altamente significativo y una ecuación de regresión lineal: $y = 485,1 - 28,52 x$. en donde:

y : son las horas de frío mensuales.

x : temperatura media mensual.

El tercer método (B. Bidabé, 1967), se basó en la ley de Van't Hoff Arrhenius sobre la acción exponencial de la temperatura en los procesos de las plantas.

De acuerdo con Fleckinger (1954) al aumentar la temperatura 10°C, la velocidad de crecimiento de los botones florales del peral se multiplica por un coeficiente Q_{10} de valor comprendido entre 2,5 y 2,8.

Bidabé (1963) da al coeficiente Q_{10} un valor entre 2,5 y 3,5 para el manzano.

En este trabajo se emplearon los valores 2,0; 2,5 y 3,0 para evaluar la acción diaria "frío" mediante la fórmula siguiente:

$$A_F = Q_{10}^{-\frac{M}{10}} + Q_{10}^{-\frac{m}{10}}$$

donde:

A_F = acción diaria de frío.

Q_{10} = coeficiente.

M = temperatura máxima diaria.

m = temperatura mínima diaria.

Para facilitar el empleo de esta fórmula se calcula la función $Q_{10} - \emptyset_{10}$ para los valores enteros de temperatura y para los valores 2,0; 2,5 y 3,0,

asimismo se confecciona una tabla para la conversión de las sumas de acción de "frío" y el número de horas/frío de temperatura igual o menor a 7°C.

El cuarto método (J. H. Weinberger, 1950), fue desarrollado para el Hemisferio Norte, se funda en un estudio de correlación entre el número de horas de frío (7°C) y el promedio de las temperaturas medias de diciembre y enero, para, nuestro caso junio y julio.

El quinto método (E. A. Damario, 1968) es un "método gráfico original", para estimar las horas de frío medias mensuales de cualquier localidad, cuyos valores climáticos de temperaturas mínimas medias de los cinco meses más fríos, sean conocidas. Sobre un diagrama para la estimación de horas de frío medias mensuales, mediante un gráfico entrando con el valor de la temperatura mínima media de cada mes, se obtiene las horas de frío estimadas.

El sexto, (Método Propuesto), se basa en la cita que G. Muñoz Santa María (1968) efectuara en su trabajo "Evaluación de fórmulas para el cálculo de horas-frío en algunas zonas frutícolas de México", referente, a que según el Dr. R. Sharpe existiría una correlación entre las temperaturas medias mensuales del invierno y el número de horas-frío acumuladas.

Efectuada la correlación correspondiente entre las temperaturas medias mensuales de los meses de junio, julio y agosto y las horas en las cuales la temperatura era $\leq 7^{\circ}\text{C}$, durante el período 1937-1975 en Córdoba, el coeficiente de correlación resultó ser igual a $-0,96$, es decir altamente significativo y la ecuación de regresión lineal:

$$y = 633,11 - 37,23 x$$

Por lo que la expresión propuesta para la estimación de horas de frío en Córdoba es la siguiente:

$$\text{H.F.M.} = 633,11 - 37,23 \text{ tm}$$

donde:

H.F.M. = número de horas de frío mensuales.

tm = temperatura media mensual.

III. RESULTADO

De los seis métodos analizados, algunos de ellos debieron ser descartados por presentar resultados ilógicos o inconvenientes en el cálculo. El primero de ellos (Crossa-Raynaud, 1957), aplicado con datos locales no puede ser utilizado para las condiciones climáticas de la región, debido

a que en el 68,42% de los años, dicho procedimiento arroja como resultado un mínimo de horas de frío diarias superior a 24 horas, lo que constituye un absurdo, razón por la cual se eliminó del estudio.

El tercero (B. Bidabé, 1967), con los datos de la serie Córdoba se aplicaron las tablas de conversión, se observó que las mismas no pueden ser empleadas para estas condiciones climáticas; además dichas tablas de conversión al no responder a leyes matemáticas no pudieron ser adaptadas a las condiciones locales. Por tales razones, este método tampoco fue considerado.

Con los restantes métodos de estimación de horas de frío se efectuó una comparación mediante un diseño de bloques al azar. Como los datos eran representativos de 38 años se tomó cada año como un bloque, analizándose el factor métodos de estimación a cinco niveles.

El cómputo real de las horas de frío se tomó como testigo. La variable de respuesta fueron las horas de frío totales durante los meses de junio, julio y agosto de cada año. (Cuadro N° 1).

El cuadro de Análisis de la Varianza obtenido es el que sigue:

Análisis de la varianza

Fuente de variación	Sumas de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F _c	F _{5%}	F _{1%}
Bloques	1.526.992	37	41.270,05	2,68	1,46	1,70
Tratamientos	2.025.510	5	405.102,00	101,77	2,21	3,02
Error	2.258.450	147	15.363,60			
Total	4.283.960	189				

Del cuadro precedente se puede concluir que existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

Comparando las medias de los distintos tratamientos por medio de un test de Tukey se concluyó que el único método que no difiere significativamente con las horas de frío reales es el método propuesto.

Al comprobarse que existía una relación lineal entre las horas de frío reales y las obtenidas mediante estimación por el método propuesto, se calculó el coeficiente de correlación lineal que resultó ser igual a $-0,96$.

Además se analizó el comportamiento de las horas de frío acumuladas durante los meses de junio, julio y agosto durante el período 1937/75 de la forma siguiente:

- a) Se comenzó por computar qué porcentaje de las observaciones se encontraba en los siguientes intervalos: $\bar{x} \pm \sigma$; $\bar{x} \pm 2\sigma$; $\bar{x} \pm 3\sigma$.

CUADRO 1 — Comparación de horas de frío reales (promedio de los meses de junio, julio y agosto) con horas de frío calculadas por distintos métodos durante el período 1937/1975 en Córdoba.

Años	Horas de frío reales	s/F. S. Da Mota	s/Weinberger	s/Damario	Método Propuesto
37	405	349	593	658	455
38	574	434	636	658	566
39	303	212	462	658	276
40	352	363	491	658	473
41	389	380	631	658	496
42	844	623	968	658	812
43	614	500	701	658	652
45	468	329	631	658	429
46	590	480	842	658	626
47	600	483	842	658	630
48	583	440	738	658	574
49	553	446	813	658	593
50	439	320	561	658	418
51	402	269	505	658	351
52	590	466	551	658	607
53	619	454	954	658	593
54	572	480	823	658	696
55	686	526	799	658	685
56	505	407	682	658	530
57	791	506	832	658	558
58	363	357	481	658	466
59	533	454	664	658	593
60	519	380	664	658	499
61	497	349	678	658	455
62	752	537	879	658	701
63	344	297	523	658	388
64	692	409	654	658	533
65	394	283	477	658	369
66	374	346	509	658	452
67	574	506	813	658	670
68	272	229	519	658	313
69	473	397	588	658	519
70	455	300	617	658	496
71	564	389	664	658	507
72	451	764	571	658	488
73	582	464	716	658	604
74	508	354	571	658	462
75	554	409	579	658	533

Los resultados obtenidos fueron:

Horas de Frío Reales:

$$\bar{x} = 520,53 \qquad \sigma = 129,72$$

$$1 - \bar{x} \pm \sigma = (390,81 ; 650,25)$$

En este intervalo se encuentra el 68 % de los datos.

$$2 - \bar{x} \pm 2\sigma = (261,09 ; 779,97)$$

Aquí se encuentra el 95 % de las observaciones.

$$3 - \bar{x} \pm 3\sigma = (131,37 ; 909,69)$$

En este intervalo se encuentra el 100 % de los datos.

Horas de Frío determinadas por el Método Propuesto.

$$\bar{x} = 528,10 \qquad \sigma = 113,25$$

$$1 - \bar{x} \pm \sigma = (414,85 ; 641,35)$$

El 71 % de los datos se halla en este intervalo.

$$2 - \bar{x} \pm 2\sigma = (301,60 ; 754,60)$$

Se encuentra aquí el 95 % de las observaciones.

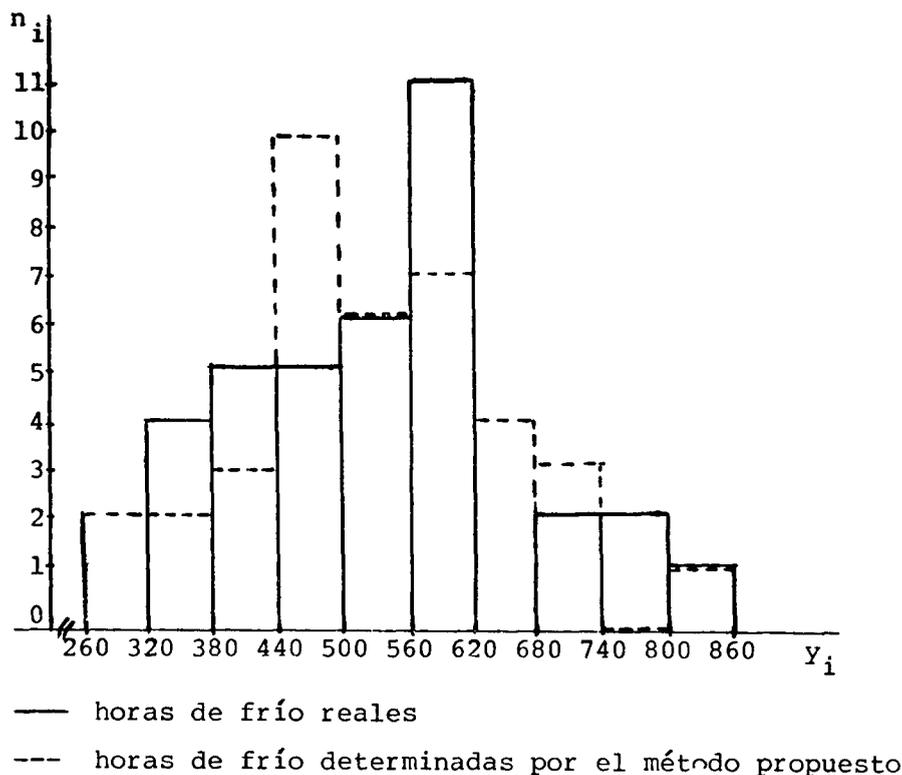
$$3 - \bar{x} \pm 3\sigma = (188,35 ; 867,85)$$

Encontramos aquí el 100 % de los datos.

- b) A raíz de los resultados obtenidos en el punto a), se pensó que la distribución de las horas de frío, a través del tiempo, podía ser normal. Para comprobar dicha hipótesis se efectuaron los correspondientes test χ^2 (chi-cuadrado) aceptándose la misma a un nivel de significación del 5 %, tanto para las horas de frío reales, como para las determinadas por el Método Propuesto.
- c) Luego se procedió a confeccionar un gráfico, comparando las distribuciones de frecuencia de las horas de frío reales y las obtenidas por el método propuesto. En el mismo se observa que, mientras las horas de frío reales presentan un valor modal en $y_1 = 579$ horas, las determinadas por el método propuesto lo experimentan en $y_1 = 455$ hs. (Gráfico N° 1).

Calculados los coeficientes de variación para ambas series se puede concluir que las dos presentan la misma homogeneidad, o sea, una similar concentración de los datos alrededor del promedio.

GRÁFICO Nº 1. — Comparaciones de las distribuciones de frecuencias de las horas de frío reales y las determinadas por el método propuesto.



IV. CONCLUSIONES

De los métodos estudiados se puede afirmar que el método propuesto se puede usar, como la mejor aproximación para determinar las horas de frío efectivas en Córdoba y su área de influencia.

Este método aplicado a la serie 1937/75, mostró al comparar los valores medios entre las horas de frío reales y las temperaturas medias de los tres meses considerados, que sobreestima las horas de frío efectivas en 1,49 % mientras que el de Damario lo hace en un 26,4 %.

La aplicación del método propuesto resulta ser esencialmente local, pero podrá ser extensible a otras zonas cuya modalidad climática sea similar, sobre todo, en lo que respecta a los principales parámetros que caracterizan su régimen térmico. Estas conclusiones ya fueron señaladas por el profesor Damario quien agrega que la aplicación de una misma fórmula a localidades geográficamente vecinas, puede producir groseros

errores de estimación. Además, contribuye a reafirmar lo expresado por dicho autor, el hecho de que el Método de Da Mota, de iguales fundamentos que el propuesto, arrojó para Córdoba resultados no significativos.

Con el método propuesto, se pueden estimar las horas de frío efectivas para meses y años particulares, lo cual permite efectuar una correcta caracterización del régimen agroclimático de horas de frío efectivas de una localidad.

V. RESUMEN Y SUMMARY

Para que haya una buena producción de frutas en cantidad y calidad y asimismo para que la "vida útil" de los árboles frutales, sea la máxima posible, es fundamental que las disponibilidades de frío de una región, coincidan en gran medida con los requerimientos de frío por parte de las plantas.

En este trabajo se estudian y comparan distintos métodos y fórmulas de estimación de horas de frío con el número real de horas de frío ($\leq 7^{\circ}\text{C}$) registradas durante el período 1937/75 en el observatorio del Servicio Meteorológico Nacional en Córdoba (Latitud: $31^{\circ} 24' \text{ S}$; longitud $64^{\circ} 11' \text{ W}$ de G.; Elevación: 425 m.s.n.m.).

Se explican brevemente los fundamentos de cada Método o Fórmula y se hace referencia a su comportamiento a través de la serie de años analizada.

Además tomando como base uno de los métodos analizados (Dr. Sharpe) se propone una fórmula para la estimación de las horas de frío en Córdoba, que resulta ser el método más adecuado de estimación.

SUMMARY

Using the proposed method the hours of cold effective for particular months and years can be estimated, which allows a correct description (definition) of the agro-climatic conditions during the hours of cold in a particular region.

To ensure good fruit production both in quality and quantity as well as to ensure that the useful life span of the fruit trees be the maximum possible, it is essential that the actual cold period of a given region coincides, to a great extent, with the requirement of cold of the plants under consideration.

This paper reviews and compares different methods and formulae to estimate the number of cold hours with the real number of cold hours ($\leq 7^{\circ}\text{C}$) registered during the 1937/75 period at the Observatory of the Córdoba Meteorological Service (Latitude $31^{\circ} 24' \text{ S}$ - Longitude: 64° W , of G. Height above sea level: 425 m.).

The basis of each method or formula is briefly explained and reference is made to its performance throughout the period analyzed.

Furthermore, taking one of the methods studied (Dr. Sharpe's) as a basis, a formula for the estimation of hours of cold in Córdoba has been proposed, which has proved to be the most adequate method of estimation.

VI. BIBLIOGRAFIA

- 1 — BIDABE, B. 1967. Action de la temperature sur l'évolution des bourgeons de pommier et comparaison de méthodes de controles de l'poque de floraison. *Ann. Physiol. Vegét.* 9(1):65-86.
- 2 — BOYNTON, D. 1959. Observations on the temperature limitations of the apple in Tropical America Proc. of the Caribbean Region. A.S.H.S. VII Meeting. p.69-81.
- 3 — CROSSA-RAYNAUD, P. 1956. Effects des hivers doux sur le comportement des arbres fruitier a feuille s caduques. *Ann. Serv. Bot. Agron.* 29:1-22.

- 4 - CHANDLER, V. et al. 1937. Chilling requirements for opening of buds on deciduous orchard trees and some other plants in California. Univ. of Calif. Agric. Exp. Sta., Berkeley, Bull. 611.
- 5 - HATCH, A. H. and D. R. WALKER. 1969. The effect of temperature on cold hardiness, respiration and intensity of rest of dormant peach and apricot buds. Published with the approval of the Director of Research as Paper N° 839 of the journal Series.
- 6 - DAMARIO, E. A., 1968. Carta estimada de horas de frío de la República Argentina. Rev. de la Fac. de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires. 17(2):25-38.
- 7 - DA MOTA, F. S. 1957. Os invernos de Pelotas, Rs, em relação as exigencias das arvores frutíferas de folhas caducas. Bol. Tec. N° 18 do Instituto Agronomico do Sul.
- 8 - MARKUS, R. 1952. Um estudo estatístico dos invernos de Porto Alegre em relação as exigencias de frío das frutíferas de clima temperado; Revista Agronomica. Año XVI, N° 187; 88-89. Porto Alegre.
- 9 - MUÑOZ SANTA MARIA, G. 1968. Evaluación de fórmulas para el cálculo de horas-frío en algunas zonas frutícolas de México. Banco Nación Agropecuario. S.A. México.
- 10 - NIGHTINGALE, G. T. y M. A. BLAKE. 1934. Effects of temperature on the growth and composition of Satyman and Bladwin apple trees. N. S. Agr. St. Bull. 566.
- 11 - SAMISH, R. M. and S. LAVEE. 1962. The chilling requirement of fruit trees. XVI Int. Hort. Cong. Brussels. pp. 372-388.
- 12 - WEINBERGER, J. H. 1950. Chilling requirements if peach varieties. Amer. Soc. For. Hort. Sci. Proc. 56:122-127.