

NUEVA FÓRMULA PARA LA ESTIMACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LAS HORAS DE FRÍO

E.A. DAMARIO¹; A.J. PASCALE¹ y R.O. RODRÍGUEZ²

Recibido: 20/10/08

Aceptado: 19/12/08

RESUMEN

Utilizando valores climáticos corrientes se desarrolló una fórmula para estimar la magnitud del enfriamiento disponible durante el descanso de frutales criófilos al cual se lo considera extendido entre el 1° de mayo y el 31 de agosto. Para ello se utilizó la información climática de “horas de frío” medias mensuales de la serie 1971-2000 calculadas mediante la fórmula de Parton y Logan (1981) aplicada a valores diarios.

Los valores obtenidos mediante la nueva fórmula propuesta manifiestan excelente correlación con los valores calculados, observándose entre ambas series diferencias muy pequeñas con un error absoluto medio de alrededor de 3%.

Palabras clave. Horas de frío, frutales criófilos, dormición.

A NEW FORMULA FOR THE AGROCLIMATIC ESTIMATION “CHILLING HOURS”

SUMMARY

A formula which use simple and common climatic values was developed to estimate the magnitude of the available cooling along the dormancy period of criophilous fruit trees, during the period May 1st to Aug 31th.

For its development the monthly means of “chilling hours” available for the 1971-2000 period was used, being calculated according Parton and Logan (1981) formula applied to daily values.

The estimation with the new formula showed excellent correlation with values calculated, with small differences among both series, being the mean absolute error about 3%.

Key words. Chilling hours, cold requirements, fruit trees, dormancy.

INTRODUCCIÓN

En varios estudios agroclimáticos anteriores sobre la disponibilidad en “horas de frío” durante el descanso vegetativo de frutales criófilos, los autores utilizaron una fórmula de estimación desarrollada en 1998 sobre la base de un método gráfico presentado

en 1969 y confeccionado empleando como material básico la información proveniente de lecturas termográficas horarias (Damario, 1969; Damario y Pascale, 1995).

La ocasión de disponer ahora de una información más copiosa sobre valores climáticos mensuales

¹ Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la FAUBA. Av. San Martín 4453. 1417, Buenos Aires.

² Instituto de Clima y Agua-CIRN-INTA, Las Cabañas y Los Reseros s/n, 1712 Castelar, Pcia. Buenos Aires

de “horas de frío” la cual, aunque también estimada, merece alto grado de verosimilitud, hizo factible desarrollar una nueva fórmula de estimación integrada con elementos climáticos simples y corrientes, aplicable a cualquier localidad que disponga de información meteorológica continuada por 20 ó más años.

Habida cuenta de que en gran parte del territorio de la Argentina el mes de septiembre registra temperaturas favorables para el despertar vegetativo de los cultivos actualmente utilizados, los que unen a una menor exigencia de frío un nivel térmico de brotación reducido, se consideró conveniente limitar a cuatro meses la duración del período de descanso, comprendido entre el 1° de mayo y el 30 de septiembre en los estudios anteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material básico utilizado para el desarrollo de la nueva fórmula de estimación de las “horas de frío” (HF) acumuladas durante el período de descanso de los frutales criófilos, fue la información provista por el Instituto de Clima y Agua del INTA, consistente en valores térmicos medios mensuales y de HF computadas diariamente con la fórmula de Parton y Logan (1981) durante el período 1971-2000 para un centenar de estaciones meteorológicas de la Argentina, de las cuales 77 cubren un período observacional de 25 ó más años, y el resto entre 10 y 24 años. Solamente la información de las primeras se utilizó para desarrollar la fórmula y la de las segundas para cuantificar el grado de ajuste a menores duraciones de observación. La nómina y ubicación de las localidades analizadas figura en las columnas 1 a 4 de los Cuadros 1 y 2.

La fórmula de Parton y Logan contempla los principales factores que influyen en la magnitud diaria de las HF, a saber: el nivel de la temperatura mínima, la amplitud térmica diaria y la duración astronómica del día. El cómputo diario continuado durante el período treinta años considerado, integra también la influencia de otros dos factores importantes: la variabilidad interanual de los valores medios mensuales y la variabilidad que presentan la temperatura mínima y la amplitud diarias dentro del universo informativo utilizado.

El valor de esta fórmula fue analizado por Alonso *et al.* (2001) en su aplicación al cálculo de las HF diarias desde abril a septiembre en localidades argentinas. Para mejorar el ajuste entre las calculadas y las registradas termográficamente, introdujeron una pequeña corrección a la fórmula

original y consideraron que su aplicación a las localidades de la región chaqueño-pampeana-litoral produciría una muy pequeña subestimación. Al respecto, debe recordarse que los valores de comparación fueron obtenidos por lecturas desde termogramas, las que nunca suelen coincidir exactamente con las mediciones termométricas horarias. Como en este estudio se utilizan valores térmicos climáticos y promedios treinta años de HF computadas, puede aceptarse que los valores utilizados para desarrollar y comparar la nueva fórmula, proveen cifras correctas sobre la disponibilidad normal del enfriamiento invernal.

A las HF computadas diariamente con la fórmula de Parton y Logan se las denominará como “observadas” para distinguirlas de las “estimadas” con la nueva fórmula.

El análisis exhaustivo de todo el material climático disponible mediante correlaciones y regresiones simples y múltiples entre las HF observadas y los valores térmicos principales en las 77 localidades con 25 ó más años de observación, finalmente permitió reducir el análisis a los tres parámetros que mostraron el mayor grado de ajuste: la temperatura mínima media anual (T_{12}), el promedio de las temperaturas mínimas medias de los cuatro meses (T_4) y la temperatura media del mes de julio (T_j). Los dos primeros coinciden con los integrantes de la fórmula de 1998 y T_j fue el elemento que mejor pudo corregir la diferencia entre observadas y estimadas con T_4 y T_{12} .

Las localidades analizadas se dividieron en dos grupos, según que las HF observadas superaran o no una acumulación de 1.000, criterio similar al utilizado por los autores en trabajos anteriores.

Dentro de las 58 localidades con menos de 1.000 HF observadas, fueron eliminadas 16 por tener una T_j mayor o, igual a 14 °C. La razón para adoptar este criterio se fundó en dos motivos; uno es que la cantidad de HF en esas localidades ofrece variaciones grandes pero de muy escasa significación produciendo acumulaciones reducidas siempre menores de 200 HF. La segunda razón para la exclusión de esas localidades se fundamenta en que esas reducidas cantidades de enfriamiento posibles de ocurrir en ocasionales períodos de bajas temperaturas, resultarán totalmente anuladas en los períodos siguientes normalmente cálidos (Damario y Pascale, 1995). Como una aproximación media, a las localidades con T_j entre 14° y 15 °C se les puede adjudicar unas 200 HF, alrededor de 150 HF a las de T_j entre 16° y 17 °C y unas 100/125 a las de mayor nivel térmico en julio.

En el segundo grupo que comprende a las 19 localidades que tienen más de 1.000 y hasta 2.000 HF observadas, este último límite está señalando un grado de enfriamiento más que suficiente para especies de crioelegencias máximas.

Aunque no es posible establecer determinadas temperaturas como divisorias de los grupos, se puede aceptar que una T_j igual o menor a 8 °C limita a los casos con HF menor o igual a 1.000 y una T_{12} menor o igual a 5 °C marca el comienzo de HF mayores a 2.000. Solamente 3 localidades de las

analizadas superaron este nivel: Bariloche, Esquel y Maquinchao, las que fueron eliminadas en las estimaciones.

Como resultado final del análisis realizado, se desarrollaron dos fórmulas, una para cada grupo, con las cuales estimar la cantidad de HF acumuladas durante el descanso:

$$HF1000 = 2.668,82 - 36,384 T_{12} - 58,556 T_4 - 196,334 T_j + 2,461 T_4^2 + 6,227 T_j^2$$

$$HF2000 = 2.456,867 - 66,866 T_{12} + 2,026 T_{12}^2 - 40,276 T_4 - 97,925 T_j$$

RESULTADOS

En las columnas 8 y 9 del Cuadro 1 se anotan los valores de HF observadas y las estimadas por las fórmulas I y II, y en la columna 10 los respectivos porcentajes de error entre observadas y calculadas.

Como puede observarse, el ajuste entre valores de

HF en el primer grupo resultó altamente preciso ya que solamente en una de las 42 localidades incluídas (Famaillá), el error supera ligeramente el 8% y, por el contrario, en otras 35 el error es inferior al 5%. El error medio porcentual de este grupo es de sólo -0,61 ó ± 3,31% con un error medio porcentual absoluto de 2,74%. Este

CUADRO 1. Estimación del enfriamiento disponible para frutales criófilos en localidades con más de 25 años de registro climático, con temperatura media de julio inferior a 14 °C y hasta 2.000 horas de frío observadas.

Localidad	Coordenadas geográficas			Valores térmicos climáticos °C			Horas de frío		
	Lat. S	Long. W	Altitud	T12	T4	Tj	Observadas	Estimadas	Error %
	° - '	° - '	m						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alto Valle	39,02	67,67	242	6,5	0,9	6,2	1.465	1.462	-0,20
Anguil	36,50	63,98	165	7,7	1,9	7,4	1.200	1.261	5,08
Azul	36,65	59,83	132	8,0	3,3	7,5	1.120	1.177	5,09
Bahía Blanca	38,73	62,17	83	9,0	3,9	8,2	1.015	1.059	4,33
Balcarce	37,75	58,30	130	8,2	4,2	7,6	1.090	1.131	3,76
Barrow	38,32	60,25	120	2,1	-0,7	2,5	1.225	1.230	0,41
Bolivar	36,25	61,10	93	9,3	4,4	8,4	940	911	-3,08
Bordenave	37,85	63,02	212	8,4	3,2	7,3	1.160	1.194	2,93
Castelar	34,67	58,65	22	11,6	6,8	10,3	600	604	0,67
Ceres	29,88	61,95	88	13,1	8,1	12,6	385	394	2,34
Chacras de Coria	32,98	68,87	921	7,9	1,6	6,8	1.350	1.326	-1,85
Chepes	31,33	66,60	658	12,8	6,3	10,8	545	550	0,92
Comodoro Rivadavia	45,78	67,50	46	7,9	3,8	6,6	1.350	1.256	-6,96
Concep. del Uruguay	32,48	58,23	21	12,7	7,5	11,6	490	466	-4,90
Concordia	31,30	58,02	38	13,3	8,8	12,8	355	367	3,38
Córdoba	31,32	64,22	474	11,1	5,8	10,8	610	614	0,66
Cnel. Suárez	37,50	61,95	234	7,3	2,4	6,6	1.310	1.334	1,83
Dolores	36,35	57,73	9	9,2	4,8	9,0	880	843	-3,10
Ezeiza	34,82	58,53	20	11,0	6,2	9,9	660	667	1,06
Famaillá	27,05	65,42	363	13,2	7,6	12,1	390	422	8,42
Gral. Pico	35,60	63,65	145	9,8	4,2	8,8	885	860	-2,82
Gualectuaychú	33,02	58,52	21	12,1	7,2	11,4	520	505	-2,88

CUADRO 1. *Continuación.*

Localidad	Coordenadas geográficas			Valores térmicos climáticos °C			Horas de frío		
	Lat. S	Long. W	Altitud	T12	T4	Tj	Observadas	Estimadas	Error %
	° - '	° - '	m						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hilario Ascassubi	39,38	62,62	22	7,8	2,8	7,6	1.160	1201	1,83
Junín	34,55	60,92	81	10,2	5,2	9,4	785	764	-2,68
Laboulaye	34,13	63,37	137	9,9	4,4	9,1	835	828	-0,84
Las Flores	36,03	59,10	33	8,7	4,2	8,7	945	913	-2,32
La Plata	34,97	57,90	19	11,2	6,5	9,6	660	674	2,12
La Rioja	29,38	66,82	429	13,5	6,4	12,0	440	444	0,91
Malargüe	35,50	69,58	1.425	4,1	-0,3	4,2	1.815	1.817	0,11
Manfredi	31,82	63,67	292	10,1	4,2	9,3	830	820	-1,20
Marcos Juárez INTA	32,68	62,12	110	11,5	6,3	10,5	610	604	-0,98
Mar del Plata	37,93	57,58	21	8,8	4,6	8,3	930	931	0,11
Mendoza	32,83	68,78	705	10,1	3,0	8,6	970	920	-5,17
Mercedes	29,17	58,02	100	13,9	9,2	13,9	310	307	-0,97
9 de Julio	35,45	60,88	66	10,3	5,4	9,4	790	754	-4,55
Oliveros	32,55	60,85	26	12,0	7,0	10,9	565	543	-3,89
Paraná	31,83	60,52	110	13,4	8,4	12,0	365	383	4,93
Pehuajó	35,87	61,90	87	9,6	4,6	8,7	890	868	-2,47
Pergamino	33,93	60,55	65	10,6	5,7	9,9	715	696	-2,66
Pigüé	37,60	62,38	304	7,6	2,7	6,6	1.290	1.311	1,63
Pilar	31,67	63,88	338	11,4	6,1	10,7	600	601	0,17
Pocitos	31,37	68,32	618	10,2	2,7	8,8	980	912	-6,94
Rafaela	31,18	61,55	100	12,1	7,2	11,6	500	495	-1,00
Reconquista	29,18	59,60	42	14,6	10,0	14,0	270	273	1,11
Río Colorado	39,02	64,08	79	8,7	3,4	8,1	985	1.000	1,52
Río Cuarto	33,12	64,23	421	11,1	5,8	9,7	675	689	1,92
Rosario	32,92	60,78	25	11,6	6,4	10,6	610	591	-3,11
Salta	24,85	65,48	1.221	10,4	4,7	11,4	645	641	-0,62
San Antonio Oeste	40,73	64,95	7	9,6	4,3	8,5	950	898	-5,47
San Carlos	33,67	69,03	940	5,4	-0,8	6,3	1.505	1.568	4,18
Santiago del Estero	27,77	64,30	199	13,6	7,4	12,9	400	379	-5,25
San Martín	33,08	68,42	653	9,4	3,0	8,5	1.010	1.055	4,45
San Pedro	33,68	59,68	28	11,5	6,8	10,4	580	598	3,10
San Rafael	34,58	68,40	748	8,1	2,5	8,2	1.120	1.144	2,14
Sauce Viejo	31,60	60,82	18	13,6	8,5	12,0	375	395	5,33
Tandil	37,23	59,25	165	7,9	3,4	7,2	1.165	1.213	4,12
Trelew	43,20	65,26	43	7,4	2,2	6,6	1.395	1.337	-4,16
Tres Arroyos	38,33	60,25	115	8,7	4,2	7,8	1.050	1.077	2,57
Villa Dolores	31,95	65,13	569	11,8	6,4	11,4	500	527	5,40
Villa Ma. del Río Seco	29,90	63,68	341	11,2	5,8	11,3	595	581	-2,35
Zavalla	33,02	60,85	50	11,1	6,2	10,3	635	645	1,57

excelente ajustamiento está confirmado por una correlación simple de $r=0,996$. El gráfico de la Figura 1 en el que se plotean valores observados contra estimados, acusa un coeficiente de regresión de $+ 1,058$.

Se recuerda que sólo se consideraron aquellas localidades con 25 ó más años de observaciones. Como lo muestran las cifras del Cuadro 2, para localidades con menos años de registro, la precisión del ajuste entre observadas y calculadas es variable. Los errores observados para estas localidades pueden aceptarse teniendo en cuenta que las exigencias de frío en las diferentes especies y cultivares no son de magnitud absoluta y varían en distintos climas.

La bondad predictiva de la fórmula II es algo inferior, produciendo un error medio porcentual de $1,76\% \pm 3,26$ y un error medio porcentual absoluto de $3,15\%$. Teniendo en cuenta la magnitud de las HF de las localidades integrantes de este segundo grupo, errores de ese tenor carecen por completo de importancia bioclimática. La correlación entre observadas

y calculadas de este grupo resultó $r=0,979$ y el coeficiente de regresión que acusa el ordenamiento de puntos de la Figura 2 es $+ 1,048$.

CONCLUSIONES

Las nuevas fórmulas propuestas para la estimación agroclimática de las HF acumuladas en los cuatro meses (1° de mayo-31 de agosto) en los que se supone se puede cumplir el período de descanso de especies frutales criófilas, consiguen estimar con suficiente exactitud el grado medio de enfriamiento biometeorológico.

La elevada correlación entre valores de HF observadas y calculadas confirma la bondad de estas fórmulas, aplicables a cualquier localidad de la que se disponga información climática sobre series de 20 ó más años continuados.

CUADRO 2. Estimación del enfriamiento disponible para frutales criófilos en localidades entre 11 y 24 años de registro climático, con temperatura media de julio inferior a 14 °C y hasta 2.000 horas de frío observadas.

Localidad	Coordenadas geográficas			Valores térmicos climáticos °C			Horas de frío		
	Lat. S	Long. W	Altitud	T12	T4	Tj	Observadas	Estimadas	Error %
	° - '	° - '	m						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abra Pampa	22,83	65,85	3.484	-3,0	-11,2	1,0	1.990	2.029	1,96
Cabo Raso	44,35	65,23	9	7,4	3,2	6,0	1.565	1.357	-13,29
Camarones	44,82	65,70	34	7,6	3,6	6,8	1.345	1.255	-6,60
Catamarca A	28,60	65,77	454	14,1	6,6	12,5	415	427	2,89
Cipoletti	38,95	67,97	265	7,6	1,8	6,5	1.355	1.385	2,21
Gral. Villegas	34,92	62,73	117	8,8	3,3	8,0	1.035	1.010	-2,41
Junín (Mza.)	33,15	68,47	653	8,7	4,4	8,3	1.140	1.038	-8,94
La Consulta (Mza.)	33,73	69,12	940	7,2	1,1	6,9	1.405	1.360	-3,20
Mercedes (Bs. As.)	34,68	59,45	38	9,5	4,7	8,7	880	866	-1,59
Punta Indio	35,37	57,28	22	10,3	6,7	9,8	590	635	7,6
Rama Caída	34,67	63,38	692	7,2	1,4	7,6	1.290	1.280	-0,78
San Juan A.	31,57	68,42	598	10,1	2,4	8,8	1.020	1.030	0,98
Sumalao	28,48	65,73	525	14,6	8,0	13,2	300	298	-0,67
Tinogasta	28,07	67,57	1.201	9,1	2,4	10,5	995	894	11,35
Uspallata	32,60	69,33	1.891	2,6	-2,7	5,3	1.645	1.886	14,65
Viedma	40,85	63,02	7	7,8	2,8	7,3	1.225	1.231	0,49
Villa Mercedes (S.L.)	33,72	65,48	515	7,3	1,1	8,0	1.160	1.249	7,67

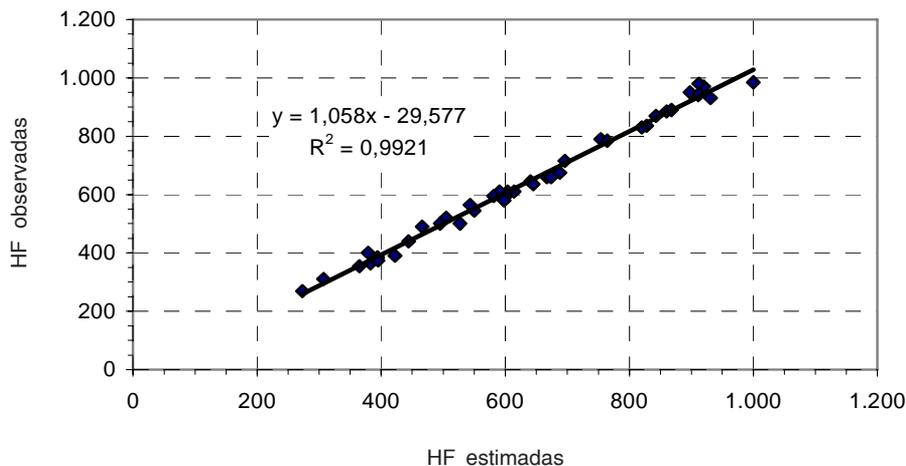


FIGURA 1. Relación entre las HF observadas y las estimadas con la fórmula HF 1.000.

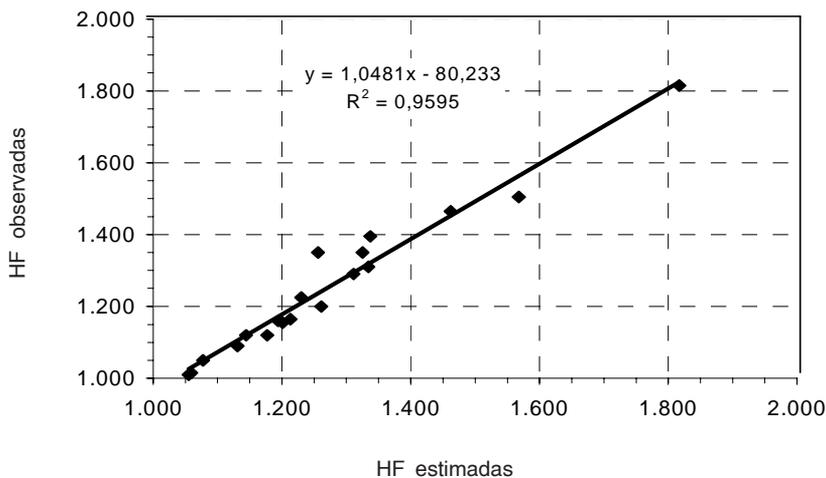


FIGURA 2. Relación entre las HF observadas y las estimadas con la fórmula HF 2.000.

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. *Rev. Fac. de Agronomía*. Buenos Aires. 21(3): 261-264.
- DAMARIO, E.A. 1969. Carta estimada de horas de frío en la República Argentina. *Rev. Fac. de Agronomía y Veterinaria*. La Plata. 17(2): 25-38.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 1995. Nueva carta agroclimática de "horas de frío" de la Argentina. *Rev. Fac. de Agronomía*. Buenos Aires. 15(2-3): 219-225.
- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE y C.A. BUSTOS. 1998. Método simplificado para la estimación agroclimática de horas de frío anuales. *Rev. Fac. de Agronomía*. Buenos Aires. 18(1-2): 93-98.
- PARTON, H.J. and J.A. LOGAN. 1981. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agric. Met.* 23: 205-216.