

## MÉTODOS PARA ESTIMAR VALORES AGROCLIMÁTICOS DE "UNIDADES DE FRÍO"

E.A. DAMARIO<sup>1</sup> y R. RODRÍGUEZ<sup>2</sup>

Recibido : 14-08-91

Aceptado : 19-12-91

La dosis de enfriamiento que hace posible la normal rotura del descanso anual en las especies frutales perennes criófilas, se cuantifica actualmente mediante las "unidades de frío" que se acumulan durante la termofase negativa, unidades que resultan de transformar cada temperatura horaria en un valor relativo a su eficiencia enfriante.

La escala de transformación reproducida en el Cuadro N°1 (E.A. Richardson et al., *Hort. Sci.*, 9(4):331-332, 1974.) asigna la mayor efectividad enfriante a las temperaturas horarias entre 2,5 y 9,1°C, niega efecto a las inferiores a 1,5°C y considera como devernizantes o anuladoras a las mayores a 16,0°C. Esta escala se continúa utilizando a pesar de que los resultados de experiencias más recientes aconsejan modificarla para incluirle los efectos del nivel termoperiódico diario y el de las etapas de descanso cumplidas. (A. Erez y G. Couvillon, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 112(4):677-680, 1987.)

La sumatoria algebraica de los valores resultantes de transformar las temperaturas horarias en unidades de frío ( UF ) según los rangos de la escala del Cuadro N°1, proveerá las unidades totalizadas en el día; la suma algebraica de las UF obtenidas en cada uno de los días del mes, producirá el respectivo valor mensual (UFm) y, finalmente, el promedio climático  $\overline{UF}$  resultará de adicionar algebraicamente y promediar los valores UFm de una serie suficiente de años.

Estos valores  $\overline{UF}$  son los que importan particularmente en los estudios y valoraciones agroclimáticas. Su cómputo directo exige, obviamente, la información de valores horarios de temperatura, la que no siempre es asequible o está convenientemente preparada para su procesamiento electrónico. Para superar esta dificultad, se propone a continuación un método para aproximar los valores climáticos medios mensuales de Unidades de Frío haciendo uso, como material básico, de la información disponible en las estadísticas climatológicas corrientes o de alguna otra de fácil obtención. El procedimiento admitirá, con los ajustes correspondientes, cualquier modificación a la escala de transformación y se adaptará al cómputo de modelos combinados. (A. Erez et al., *Acta Horticulturae*, 276:165-173, 1990.)

Las estimaciones de índices agroclimáticos, como lo son las  $\overline{UF}$ , deben admitir necesariamente ciertas suposiciones que, aunque no siempre correctas, permitan utilizarlas con suficiente confianza. El método que se propone, parte de las siguientes suposiciones:

- 1) que las distribuciones de valores térmicos responden a la normalidad;
- 2) que la amplitud térmica diaria se mantiene constante e invariable dentro del mes y se la considerará expresada por la diferencia entre los valores climáticos de máxima y mínima media mensual.

<sup>1</sup>Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. UBA. Avda. San Martín 4453. (1417) Buenos Aires. -Argentina-

<sup>2</sup>Instituto de Clima y Agua -CIRR- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Villa Udaondo (1712) Castelar, C.C 25 -Argentina-

**Cuadro N°1: Escala de transformación de las temperaturas horarias en Unidades de Frio (Richardson et al., 1974)**

Temperatura		U F
°C	°F	
< 1,4	< 34	0
1,5 - 2,4	35 - 36	0,5
2,5 - 9,1	37 - 48	1
9,2 - 12,4	49 - 54	0,5
12,5 - 15,9	55 - 60	0
16,0 - 18,0	61 - 65	-0,5
> 18,0	> 65	-1

Aceptando estas premisas, la estimación de las  $\overline{UF}$  correspondientes a un mes de "N" días a través de una serie de "n" años, exige conocer los siguientes valores climáticos:

- la cantidad o frecuencia media mensual de días con diferentes temperaturas mínimas ( $tm$ );
- las temperaturas horarias ( $th$ ) de cada uno de estos días.

Ninguno de estos valores figura en las estadísticas climáticas comunes. El primero suele integrar parcialmente ciertas informaciones especiales, tal como la de los Boletines Mensuales Agrometeorológicos producidos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

A continuación se desarrolla una metodología estimatoria apta para llegar a conocer estos dos aspectos, utilizando al efecto información climática corriente.

#### A.- Estimación de la frecuencia media mensual de días con distintas $tm$ .

Para aproximar climáticamente la distribución media de las  $tm$  dentro del mes, el método que se propone sugiere dos alternativas, según se disponga o no del dato climático de frecuencia media mensual de días con helada ( $\overline{fh}$ ), es decir días con  $tm \leq 0^\circ C$ .

##### I.- Disponiendo de valores de $\overline{fh}$

Admitiendo que las  $tm$  diarias dentro del colectivo  $Nn$  se distribuyen normalmente, la cantidad de días con temperatura mínima igual o inferior a un valor cualquiera, podría calcularse fácilmente si se conociera el valor de la desviación típica ( $\sigma_d$ ) del colectivo, estadístico que no integra la información climatológica corriente pero al que se lo puede estimar partiendo del valor de  $\overline{fh}$ , valor que sí aparece en las estadísticas argentinas oficiales.

Para un mes cualquiera, la probabilidad que tiene cada día de ser un día de helada, se acerca a:  $\overline{fh}/N$ . Entrando con este valor a cualquier tabla de distribución normal, podrá leerse el valor "c" de la desviación normalizada o tipificada correspondiente. Designando como  $\overline{tm}$  al valor climático de la temperatura mínima media mensual, se podrá escribir:

$$c = \frac{0^\circ - \overline{tm}}{\sigma_d} \quad \text{de donde} \quad \sigma_d = \frac{0^\circ - \overline{tm}}{c} \quad [1]$$

Es conveniente calcular el valor de  $\overline{fh}/N$  hasta el cuarto decimal utilizando una tabla como la reproducida, por comodidad y conveniencia, en el Cuadro N°2. En atención a la concentración invernal de las heladas, se recomienda que para los meses inicial y final del período de heladas se utilice  $\overline{fh}/20$  en lugar de  $\overline{fh}/N$ .

Para los casos de  $\overline{fh}$  inferiores a 0,2 y/o  $\overline{tm}$  muy cercana a  $0^\circ C$  no es aconsejable el uso de este procedimiento, debiéndose recurrir entonces al método descrito en II.



**Cuadro N°3: Valores observados de  $\bar{od}$  y frecuencia media mensual de días con  $tm$  igual o inferior a  $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$  y  $15^\circ$  en comparación con los estimados usando los métodos propuestos en el texto.**

Localidad y record	Mes	$\bar{tm}$	Cantidad media mensual de días con temperaturas mínimas iguales o inferiores a:														
			$\bar{od}$		$0^\circ$			$5^\circ$			$10^\circ$			$15^\circ$			
			Obs.	Est.	Est.			Est.			Est.			Est.			
					Obs.	Fh	$\Sigma t$	Obs.	Fh	$\Sigma t$	Obs.	Fh	$\Sigma t$	Obs.	Fh	$\Sigma t$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Azuul 1956/66	My	4,3	4,99	5,24	5,4	6,4	5,8	17,9	17,1	17,8	27,2	26,7	27,2	30,4	30,4	30,8	
	Ju	2,8	4,92	5,71	9,4	9,4	8,6	20,6	19,5	21,2	27,9	26,9	27,3	29,7	29,5	30,0	
	Jl	1,6	5,04	5,30	11,8	11,8	9,4	22,2	22,9	22,1	28,1	29,2	28,4	30,3	30,8	29,8	
Posadas 1956/67	Ag	2,2	4,23	4,98	10,2	10,2	10,4	22,7	22,1	23,0	30,7	29,2	30,1	30,8	29,8	31,0	
	Jn	11,1	5,17	5,21	0,4	0,4	0,2	4,8	4,8	3,4	12,1	12,1	11,4	21,3	21,3	21,2	
	Jl	10,8	5,14	5,10	0,4	0,5	0,4	5,3	3,8	4,7	13,0	13,3	12,9	23,5	24,5	23,1	
Salcarco 1971/82	My	6,4	3,65	3,46	1,0	1,0	-	12,3	10,7	-	25,8	26,4	-	-	-	-	
	Jn	3,4	3,30	3,43	4,8	4,8	-	22,8	20,4	-	29,9	29,2	-	-	-	-	
	Jl	3,1	3,50	4,12	7,0	7,0	-	22,5	21,0	-	25,8	25,5	-	-	-	-	
Esperanza 1956/66	Ag	3,3	3,22	3,57	5,5	5,5	-	22,2	21,5	-	30,6	29,6	-	-	-	-	
	My	9,9	4,92	4,40	0,3	0,4	0,6	4,5	3,2	4,4	14,9	15,3	14,5	26,2	27,2	27,1	
	Jn	7,9	5,24	5,16	1,9	1,9	1,0	9,7	9,6	7,0	18,6	19,5	20,8	27,3	27,4	27,7	
Cippelletti 1956/66	Jl	7,0	5,47	5,45	3,1	3,1	2,6	13,0	11,1	10,3	20,6	21,6	23,4	28,6	28,8	29,6	
	Ag	7,2	4,90	4,42	1,6	1,6	2,6	10,8	0,8	9,1	20,5	21,7	22,7	29,5	29,8	28,5	
	My	3,1	4,67	4,02	6,8	6,8	-	21,3	21,1	-	29,6	30,9	-	31,0	31,0	-	
Cippelletti 1956/66	Jn	1,2	4,76	4,62	11,9	11,9	-	35,4	23,8	-	29,3	29,2	-	30,0	30,0	-	
	Jl	0,7	4,91	5,34	13,9	13,9	-	25,5	24,5	-	30,5	29,9	-	30,9	30,9	-	
	Ag	2,0	4,01	4,17	9,8	9,8	-	24,1	23,7	-	30,4	30,2	-	31,0	31,0	-	

- 4.- se transforma "c" en la probabilidad correspondiente mediante la tabla del Cuadro N°2;
- 5.- multiplicando el valor % de la probabilidad por N, se obtendrá la estimación de la cantidad de días ("d") del mes con temperatura mínima igual o inferior a cada  $tm$  de la escala descendente;
- 6.- haciendo la diferencia entre los pares de valores sucesivos "d" así encontrados, se obtendrá la cantidad de días intermedios ("di") con temperatura mínima igual a la  $tm$  intermedia entre los respectivos pares de la escala

II.- No disponiendo valores de  $\bar{fh}$ .

En estos casos, la estimación del número medio de días con distintas  $tm$ , se puede estimar recurriendo al procedimiento basado en la correlación que se supone debe existir entre los valores de sumas térmicas ( $\Sigma t$ ) acumuladas por encima o por debajo de una dada temperatura base ( $tb$ ) por un lado, y la cantidad de días en los que se cumple tal sumatoria, por el otro.

Este método fue anteriormente aplicado a la estimación de unidades calóricas (E.A. Damario, Rev.Fac.Agr. La Plata, 61 (1-2):5-16, 1985/86) y esencialmente consiste en calcular un valor:

$$h = \frac{\bar{tm} - tb}{\sigma_{\bar{tm}} \sqrt{N}} \quad [2]$$

Métodos para estimar valores agroclimáticos de...

Cuadro N°4: Tabla de transformación de "h" en "l"

h	l								h	l							
	G <sup>0.05</sup>	G <sup>1.00</sup>	G <sup>1.25</sup>	G <sup>1.50</sup>	G <sup>1.75</sup>	G <sup>2.00</sup>	G <sup>2.25</sup>	G <sup>2.50</sup>		G <sup>0.05</sup>	G <sup>1.00</sup>	G <sup>1.25</sup>	G <sup>1.50</sup>	G <sup>1.75</sup>	G <sup>2.00</sup>	G <sup>2.25</sup>	G <sup>2.50</sup>
-0,00	260	220	192	172	153	140	129	120	-0,56	638	616	601	587	580	575	570	565
-0,01	265	225	197	177	158	144	134	125	-0,57	646	624	610	596	589	585	579	574
-0,02	270	231	202	181	164	150	139	130	-0,58	654	633	619	605	598	593	588	583
-0,03	274	235	207	187	170	156	146	136	-0,59	662	641	628	613	607	603	597	592
-0,04	279	240	212	191	175	162	151	141	-0,60	670	649	636	623	617	612	607	602
-0,05	284	245	217	197	181	168	157	146	-0,61	678	658	645	633	627	621	616	612
-0,06	290	250	222	202	187	173	162	152	-0,62	685	667	654	643	637	631	626	622
-0,07	295	256	228	208	192	179	168	158	-0,63	693	675	663	651	645	640	635	632
-0,08	300	260	234	213	197	185	174	164	-0,64	702	684	671	661	655	650	646	643
-0,09	306	267	239	219	204	191	180	170	-0,65	710	693	680	671	665	660	655	652
-0,10	311	272	245	225	211	197	187	176	-0,66	718	701	690	680	674	669	665	663
-0,11	317	279	252	231	217	204	193	183	-0,67	727	710	699	690	684	679	675	673
-0,12	322	285	257	237	223	210	199	190	-0,68	735	719	708	700	694	689	685	683
-0,13	329	292	263	243	230	216	207	197	-0,69	744	728	717	709	703	699	694	692
-0,14	336	298	270	250	237	223	214	205	-0,70	752	737	727	718	713	709	705	702
-0,15	342	305	276	257	243	230	220	212	-0,71	760	747	736	728	723	718	714	712
-0,16	348	312	283	264	251	237	228	219	-0,72	769	755	745	737	732	728	724	722
-0,17	355	318	290	270	257	244	235	227	-0,73	779	764	753	747	742	738	734	731
-0,18	361	325	296	277	264	251	241	234	-0,74	786	772	763	756	751	747	743	741
-0,19	369	333	303	284	271	259	250	242	-0,75	796	783	772	765	761	757	753	751
-0,20	375	340	310	291	278	267	257	250	-0,76	805	792	782	775	771	767	763	761
-0,21	382	346	317	298	286	274	265	258	-0,77	813	800	791	785	780	777	773	771
-0,22	389	353	324	305	293	282	273	266	-0,78	820	809	800	795	790	786	782	781
-0,23	398	360	333	313	300	290	281	274	-0,79	830	818	810	803	798	795	792	791
-0,24	403	367	339	320	308	298	290	282	-0,80	838	827	819	812	808	805	802	800
-0,25	410	374	345	328	316	306	297	290	-0,81	847	835	828	822	818	815	813	812
-0,26	417	381	353	336	324	314	306	299	-0,82	855	844	837	832	827	825	823	821
-0,27	425	389	360	344	332	323	315	308	-0,83	864	854	847	841	837	835	833	831
-0,28	432	397	368	352	341	331	323	316	-0,84	873	863	856	847	844	843	841	841
-0,29	439	404	376	359	348	340	332	324	-0,85	882	874	866	860	857	854	852	851
-0,30	446	412	384	367	358	348	340	333	-0,86	890	881	875	870	866	864	862	860
-0,31	453	419	392	375	365	356	348	341	-0,87	899	890	885	879	876	874	872	870
-0,32	460	427	400	383	373	364	357	341	-0,88	907	899	894	888	885	883	882	880
-0,33	468	434	408	391	381	373	365	357	-0,89	916	908	903	898	895	893	892	890
-0,34	475	441	416	399	390	381	373	365	-0,90	925	917	912	908	905	903	902	900
-0,35	482	449	424	408	398	390	382	375	-0,91	934	926	922	918	914	912	911	910
-0,36	489	456	432	415	406	398	390	382	-0,92	943	936	932	928	925	923	922	920
-0,37	496	463	440	424	416	407	399	391	-0,93	951	945	941	937	934	933	930	930
-0,38	504	471	448	432	423	415	407	399	-0,94	960	954	950	945	942	941	940	940
-0,39	512	477	454	439	429	422	413	406	-0,95	968	962	959	955	953	951	950	950
-0,40	517	486	464	449	440	432	425	417	-0,96	977	972	969	965	962	961	960	960
-0,41	526	495	472	457	449	441	433	427	-0,97	986	981	978	975	972	970	970	970
-0,42	533	502	478	465	456	449	441	435	-0,98	995	990	987	985	982	980	980	980
-0,43	540	510	488	474	465	458	450	444	-0,99	1000	999	996	994	991	990	990	990
-0,44	547	517	495	483	474	467	459	453	1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
-0,45	555	526	504	491	482	476	467	462	-0,99	003	003	003	003	001	000	000	000
-0,46	562	534	511	500	490	484	477	471	-1,00	011	008	004	002	001	000	000	000
-0,47	570	542	522	508	499	493	486	479	-1,01	020	018	015	012	011	010	010	010
-0,48	577	549	531	516	508	502	495	489	-1,02	029	026	023	021	020	020	020	020
-0,49	586	558	539	525	517	511	505	499	-1,03	038	036	033	031	030	030	030	030
-0,50	593	566	548	533	526	520	513	507	-1,04	047	045	042	041	040	040	040	040
-0,51	600	574	557	543	535	529	523	517	-1,05	056	053	051	050	050	050	050	050
-0,52	608	582	565	550	543	539	533	527	-1,06	065	063	061	060	060	060	060	060
-0,53	615	590	574	559	553	547	543	537	-1,07	074	072	070	070	070	070	070	070
-0,54	622	598	583	568	561	556	553	547	-1,08	083	081	080	080	080	080	080	080
-0,55	630	607	592	578	571	566	563	556	-1,09	092	091	090	090	090	090	090	090
-0,56	638	616	601	587	580	575	570	565	-1,10	100	100	100	100	100	100	100	100



Cuadro N°5: Valores horarios del factor  $\ell$  (en %) según la duración del día (Marc Hallaire, 1950).

Duración del día	horas																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
7	45	43	41	40	39	38	37	37	38	44	52	63	74	78	76	70	65	60	57	54	52	50	48	46
9	35	32	29	26	24	21	21	27	36	47	57	70	80	85	84	79	71	63	57	51	47	43	41	39
11	29	24	20	16	13	11	11	25	43	57	66	74	83	87	85	78	69	60	51	45	40	37	34	
13	24	20	15	11	09	10	12	25	48	60	69	77	85	89	89	88	83	74	65	54	46	39	33	29
15	20	15	11	07	06	08	19	31	50	69	73	80	86	90	91	90	86	79	71	60	49	37	28	24

Cuadro N°6: Diferencias entre valores de temperaturas horarias observadas y calculadas con la fórmula de Marc Hallaire.

Localidad	Mes	$\Delta =$ observado menos calculado			Localidad	Mes	$\Delta =$ observado menos calculado		
		Nº de horas con $\Delta$ entre -0,5 a +0,5	$\Delta$ horaria negativa más alta	$\Delta$ horaria positiva más alta			Nº de horas con $\Delta$ entre -0,5 a +0,5	$\Delta$ horaria negativa más alta	$\Delta$ horaria positiva más alta
Córdoba	E	17	-1,1	-1,3	Tucumán	E	7	1,2	1,6
	J	4	-1,7	-1,2		J	6	1,3	1,5
B. Renancó	E	11	1,3	1,8	Corrientes	E	13	0,9	1,1
	J	10	1,2	2,0		J	17	1,1	0,5
Cipolletti	E	7	1,5	1,6	N. del Plata	E	7	1,5	2,5
	J	12	1,8	1,0		J	12	0,5	1,2

donde  $\sigma_{\bar{m}}$  es la desviación típica de la serie de temperaturas mínimas medias mensuales usada para computar  $\bar{m}$ , es decir, el valor climático de la temperatura mínima media mensual.

A los fines del método,  $h$  debe ser negativo, por lo que corresponderá usar  $(\bar{m} - t_h)$  ó  $(t_h - \bar{m})$  en el numerador de la fórmula anterior, según convenga.

El valor de  $\sigma_{\bar{m}}$  no figura en las estadísticas climatológicas, pero es fácil de obtener: basta disponer las temperaturas mínimas medias mensuales de una serie de diez o más años. Por otra parte, como ha sido demostrado que no existen diferencias significativas entre la variabilidad de las extremas medias y la variabilidad de la media mensual (E.A. Damario y A.J. Pascale, Rev. Fac. Agr. y Vet., 19(3):109-124, 1971.) se podrá también usar esta última, la que, de no poder computarse, se puede extrapolar de las cartas agroclimáticas publicadas sobre éste estadístico (E.A. Damario y A.J. Pascale, Rev. Fac. Agr. La Plata, 50(1-2): 103-128 1974).

El valor " $h$ " debe ser transformado posteriormente en un valor " $\ell$ " por medio de la tabla del Cuadro N°4, usando la columna  $\sigma_{\bar{m}}$  más aproximada (o interpolando si se desea más precisión). Luego se calcula la suma de temperaturas  $\Sigma t$  mediante la ecuación:

$$\Sigma t = N [(\bar{m} - t_h) + \ell \cdot \sigma_{\bar{m}} \cdot \sqrt{N}] \quad [3]$$

Para estimar climáticamente temperatura mínima igual o inferior a  $t_{mx}$ , dentro de un mes, acusan ejemplo  $t_{mx}$ , se procede así:

a)- se computa  $\Sigma t$  utilizando una  $t_h = \bar{m}$ ; en este caso  $h$  será igual a cero y la suma de temperatura corresponderá a la que se totaliza por encima o por debajo de la  $\bar{m}$ . A esta sumatoria se la designa en adelante como " $\Sigma_0$ ";

b)- se computa luego la  $\Sigma t$  correspondiente a una  $t_h = t_{mx}$ . Como  $h$  debe ser negativo se usará  $(\bar{m} - t_{mx})$  o  $(t_{mx} - \bar{m})$  según que  $t_{mx}$  sea mayor o menor que  $\bar{m}$ ;

## Métodos para estimar valores agroclimáticos de...

c)- para transformar las sumas de temperatura en cantidad de días "d" se usará:

$$d = N - [(0,25 N (\Sigma t / \Sigma_0 + \sqrt{\Sigma t / \Sigma_0})] \quad \text{si } t_{mx} > \bar{t}_m \quad [4]$$

ó

$$d = 0,25 N (\Sigma t / \Sigma_0 + \sqrt{\Sigma t / \Sigma_0}) \quad \text{si } t_{mx} < \bar{t}_m \quad [5]$$

Ahora, el procedimiento a usar entonces para estimar la distribución de las  $t_m$  dentro del mes y la cantidad de días que corresponden a cada  $t_m$ , es el siguiente (ver columnas 2 a 7 del Cuadro N°8 B):

- 1.- se computa  $\Sigma_0$  de acuerdo a lo indicado;
- 2.- se conforma una escala descendente de  $t_m$ , de grado en grado, comenzando con la  $t_m = 18,5^\circ\text{C}$ ;
- 3.- se computa el valor  $h$  para cada  $t_m$  de la escala;
- 4.- se determinan por tabla los respectivos valores de  $\ell$ ;
- 5.- se computa las  $\Sigma t$  según fórmula [3];
- 6.- se calculan los "d" es decir la cantidad de días con  $t_m$  igual o inferior a cada grado de la escala, según [4] ó [5];
- 7.- por diferencia entre los sucesivos valores "d", se obtendrá la estimación de la cantidad de días intermedios "di" con  $t_m$  igual intervalo medio entre los valores sucesivos de la escala descendente inicial.

#### B.- Estimación de las temperaturas horarias.

Para llegar al cómputo de las UF que se totalizan a lo largo de un día del cual se conocen solamente sus temperaturas extremas, es necesario reconstruir la marcha térmica horaria que haga posible, mediante la aplicación de la escala del Cuadro N°1, alcanzar el fin perseguido.

Esta reconstrucción se puede realizar utilizando el método estimatorio propuesto por Marc Hallaire (Marc Hallaire, M., *Compte Rendus*, 231:1533-1535, 1950) el cual se basa en calcular :

$$t_h = t_m - \ell A \quad [6]$$

siendo  $t_h$  la temperatura horaria estimada, A la amplitud diaria y  $\ell$  un factor cuyo valor cambia, para cada hora del día, según la duración del día (DD). Los valores de  $\ell$ , como

porcentajes, dados por el autor del método se reproducen en el Cuadro N°5. Los valores para DD pares pueden interpolarse linealmente.

DURACION DE DIA I R horas.

Temp. mínimas	Amplitud diaria									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
18,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
17,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
16,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
15,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
14,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
13,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
12,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
11,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
10,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
9,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
8,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
6,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

DURACION DE DIA I 10 horas.

Temp. mínimas	Amplitud diaria									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
18,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
17,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
16,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
15,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
14,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
13,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
12,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
11,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
10,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
9,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
8,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
6,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

DURACION DE DIA I 7 horas.

Temp. mínimas	Amplitud diaria									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
18,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
17,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
16,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
15,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
14,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
13,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
12,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
11,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
10,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
9,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
8,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
6,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

DURACION DE DIA I 9 horas.

Temp. mínimas	Amplitud diaria									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
18,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
17,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
16,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
15,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
14,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
13,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
12,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
11,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
10,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
9,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
8,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
6,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-1,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-2,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-3,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-4,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
-5,0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24



Métodos para estimar valores agroclimáticos de...

DURACION DE DIA : 12 horas.

Temp. mínima	Amplitud diaria												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22			
18,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
17,0	-20,5	-22,0	-22,5	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
16,0	-17,5	-19,5	-20,5	-21,5	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0
15,0	-15,0	-15,5	-16,0	-16,5	-17,0	-17,5	-18,0	-18,5	-19,0	-19,5	-20,0	-20,5	-21,0
14,0	-12,0	-12,5	-13,0	-13,5	-14,0	-14,5	-15,0	-15,5	-16,0	-16,5	-17,0	-17,5	-18,0
13,0	-9,0	-9,5	-10,0	-10,5	-11,0	-11,5	-12,0	-12,5	-13,0	-13,5	-14,0	-14,5	-15,0
12,0	-6,0	-6,5	-7,0	-7,5	-8,0	-8,5	-9,0	-9,5	-10,0	-10,5	-11,0	-11,5	-12,0
11,0	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	-5,5	-6,0	-6,5	-7,0	-7,5	-8,0	-8,5	-9,0
10,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
9,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
8,0	16,0	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5
7,0	21,5	18,5	14,5	12,0	8,5	5,5	3,0	0,0	-2,0	-4,0	-6,0	-8,0	-10,0
6,0	24,0	20,5	16,5	14,5	12,0	9,5	7,0	4,5	2,0	-0,5	-3,0	-5,5	-8,0
5,0	24,0	22,5	20,0	17,0	14,0	11,0	8,0	5,0	2,0	-1,0	-4,0	-7,0	-10,0
4,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
3,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
2,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
1,0	19,0	21,0	22,0	20,0	19,0	17,0	15,0	13,0	11,0	9,0	7,0	5,0	3,0
0,0	11,5	15,5	18,0	19,0	17,5	16,0	14,5	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5
-1,0	6,0	12,0	14,5	16,5	16,0	14,5	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0
-2,0	1,5	8,0	11,5	14,0	15,0	14,0	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0
-3,0	0,0	3,0	6,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0
-4,0	0,0	0,0	2,0	5,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5
-5,0	0,0	0,0	0,0	2,0	5,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0

DURACION DE DIA : 11 horas.

Temp. mínima	Amplitud diaria												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22			
18,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
17,0	-20,5	-22,0	-22,5	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
16,0	-17,5	-19,0	-20,0	-21,0	-21,5	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0
15,0	-15,0	-15,5	-16,0	-16,5	-17,0	-17,5	-18,0	-18,5	-19,0	-19,5	-20,0	-20,5	-21,0
14,0	-12,0	-12,5	-13,0	-13,5	-14,0	-14,5	-15,0	-15,5	-16,0	-16,5	-17,0	-17,5	-18,0
13,0	-9,0	-9,5	-10,0	-10,5	-11,0	-11,5	-12,0	-12,5	-13,0	-13,5	-14,0	-14,5	-15,0
12,0	-6,0	-6,5	-7,0	-7,5	-8,0	-8,5	-9,0	-9,5	-10,0	-10,5	-11,0	-11,5	-12,0
11,0	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	-5,5	-6,0	-6,5	-7,0	-7,5	-8,0	-8,5	-9,0
10,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
9,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5
8,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5
7,0	19,0	14,5	10,5	8,5	6,5	4,5	2,5	0,5	-1,5	-3,5	-5,5	-7,5	-9,5
6,0	21,5	19,0	16,5	14,5	12,5	10,5	8,5	6,5	4,5	2,5	0,5	-1,5	-3,5
5,0	24,0	20,5	17,5	15,5	13,5	11,5	9,5	7,5	5,5	3,5	1,5	-0,5	-2,5
4,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
3,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
2,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
1,0	19,5	21,5	22,0	20,5	19,5	17,5	15,5	13,5	11,5	9,5	7,5	5,5	3,5
0,0	11,5	16,0	18,0	19,5	18,0	16,0	14,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
-1,0	5,5	12,0	14,5	16,5	17,0	16,0	14,5	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5
-2,0	1,5	8,0	11,5	14,0	15,0	14,0	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0
-3,0	0,0	3,0	6,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0
-4,0	0,0	0,0	2,0	5,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5
-5,0	0,0	0,0	0,0	2,0	5,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0

DURACION DE DIA : 13 horas.

Temp. mínima	Amplitud diaria												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22			
18,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
17,0	-20,5	-22,0	-22,5	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
16,0	-17,5	-19,0	-20,0	-21,0	-21,5	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0
15,0	-15,0	-15,5	-16,0	-16,5	-17,0	-17,5	-18,0	-18,5	-19,0	-19,5	-20,0	-20,5	-21,0
14,0	-12,0	-12,5	-13,0	-13,5	-14,0	-14,5	-15,0	-15,5	-16,0	-16,5	-17,0	-17,5	-18,0
13,0	-9,0	-9,5	-10,0	-10,5	-11,0	-11,5	-12,0	-12,5	-13,0	-13,5	-14,0	-14,5	-15,0
12,0	-6,0	-6,5	-7,0	-7,5	-8,0	-8,5	-9,0	-9,5	-10,0	-10,5	-11,0	-11,5	-12,0
11,0	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	-5,5	-6,0	-6,5	-7,0	-7,5	-8,0	-8,5	-9,0
10,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
9,0	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0
8,0	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0
7,0	18,5	17,0	15,0	13,0	11,0	9,0	7,0	5,0	3,0	1,0	-1,0	-3,0	-5,0
6,0	21,5	18,5	15,5	13,5	11,5	9,5	7,5	5,5	3,5	1,5	-0,5	-2,5	-4,5
5,0	24,0	20,5	17,5	15,5	13,5	11,5	9,5	7,5	5,5	3,5	1,5	-0,5	-2,5
4,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
3,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
2,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
1,0	19,0	21,0	22,0	20,5	19,5	17,5	15,5	13,5	11,5	9,5	7,5	5,5	3,5
0,0	11,5	15,5	18,0	19,0	17,5	16,0	14,5	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5
-1,0	6,0	12,0	14,5	16,5	17,0	16,0	14,5	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5
-2,0	1,5	8,0	11,5	14,0	15,0	14,0	13,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0
-3,0	0,0	3,0	6,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0
-4,0	0,0	0,0	2,0	5,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5
-5,0	0,0	0,0	0,0	2,0	5,0	9,0	11,5	13,0	12,5	11,5	10,0	8,5	7,0

Cuadro N°7: Unidades de enfriamiento totalizadas diariamente según temperatura media, amplitud térmica y duración de día.

Cuadro N°8: Aplicación del método propuesto al cálculo de las Unidades de frío en Buenos Aires para el mes de julio.

Rev. Facultad de Agronomía, 12(3):253-263, 1991.

**A** Cálculo de  $\bar{Q}_d$  -  
 $\frac{rh}{N} = \frac{0,6}{31} = 0,01935$  tabla  $c = 2,067$   
 $-2,067 = \frac{0 - 7,7}{\bar{Q}_d} \rightarrow \bar{Q}_d = \frac{-7,7}{-2,067} = 3,7252$

	tm	tc	h	d	di	tm	UPd	UPt
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	18,5	2,899	0,998	31,0	0,1	18,0	-24,0	-2,40
2	17,5	2,631	0,996	30,9	0,2	17,0	-24,0	-4,80
3	16,5	2,362	0,991	30,7	0,3	16,0	-21,4	-6,42
4	15,5	2,094	0,982	30,4	0,4	15,0	-19,4	-9,70
5	14,5	1,825	0,965	29,9	0,5	14,0	-15,3	-12,24
6	13,5	1,557	0,948	29,1	0,6	13,0	-10,8	-12,96
7	12,5	1,288	0,900	27,9	0,7	12,0	-7,3	-12,41
8	11,5	1,020	0,846	26,2	0,8	11,0	-2,8	-6,61
9	10,5	0,752	0,774	24,0	0,9	10,0	1,1	3,08
10	9,5	0,483	0,685	21,2	1,0	9,0	6,1	18,91
11	8,5	0,215	0,585	18,1	1,1	8,0	7,6	25,08
12	7,5	-0,054	0,478	14,1	1,2	7,0	12,2	39,04
13	6,5	-0,322	0,373	11,6	1,3	6,0	16,2	48,60
14	5,5	-0,590	0,278	8,6	1,4	5,0	19,1	49,66
15	4,5	-0,859	0,195	6,0	1,5	4,0	20,7	41,40
16	3,5	-1,127	0,130	4,0	1,6	3,0	22,1	33,15
17	2,5	-1,396	0,081	2,5	1,7	2,0	24,0	24,00
18	1,5	-1,664	0,048	1,5	1,8	1,0	23,0	16,10
19	0,5	-1,933	0,027	0,8	1,9	0,0	19,4	7,76
20	-0,5	-2,201	0,014	0,4	2,0	-1,0	14,4	2,88
21	-1,5	-2,416	0,008	0,2	2,1	-2,0	10,3	1,03
22	-2,5	-2,738	0,003	0,1	2,2	-3,0	7,4	0,74
23	-3,5	-3,006	0,001	0,03				

$\overline{UP} = 244,34$

**B** Cálculo de  $\xi_0$  -  
 $h = \frac{7,7 - 7,7}{1,1919} = 0 \rightarrow l = 0,192$   
 $\xi_0 = 31 (0 + (0,192 \times 1,1919 \sqrt{31})) = 39,4987 \sim 39,50$

	tm	tm-tb	h	l	xi	d	di	tm	UPd	UPt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18,5	-10,8	1,627	1,687	0	31,00	0			
2	17,5	-9,8	1,477	1,477	0	31,00	0			
3	16,5	-8,8	1,326	1,326	0	31,00	0			
4	15,5	-7,8	1,175	1,175	0	31,00	0			
5	14,5	-6,8	1,025	1,029	0,89	29,66	1,54	15	-10,4	-26,00
6	13,5	-5,8	0,874	0,885	2,26	28,70	0,98	14	-15,3	-14,69
7	12,5	-4,8	0,723	0,745	4,46	27,52	1,18	13	-10,8	-12,74
8	11,5	-3,8	0,573	0,610	7,69	26,07	1,45	12	-7,3	-10,58
9	10,5	-2,8	0,422	0,478	11,54	24,55	1,52	11	-2,8	-4,29
10	9,5	-1,8	0,271	0,260	18,26	22,15	2,40	10	1,1	2,64
11	8,5	-0,8	0,120	0,257	28,07	18,96	3,19	9	6,1	18,46
12	7,5	0,2	0,030	0,207	36,38	14,57	4,39	8	7,6	17,74
13	6,5	1,2	0,181	0,296	23,69	10,65	3,92	7	12,2	47,82
14	5,5	2,2	0,332	0,408	15,73	7,98	2,67	6	16,2	41,25
15	4,5	3,2	0,482	0,531	10,04	5,88	2,10	5	19,1	40,11
16	3,5	4,2	0,633	0,665	6,60	4,46	1,42	4	20,7	28,79
17	2,5	5,2	0,784	0,804	4,20	3,35	1,11	3	22,1	24,53
18	1,5	6,2	0,934	0,945	2,21	2,27	1,08	2	24,0	25,92
19	0,5	7,2	1,085	1,085	0	0	2,27	1	23,0	52,21

$\overline{UP} = 250,41$

E.A. DAMARIO Y R. RODRIGUEZ

### Métodos para estimar valores agroclimáticos de...

Teniendo en cuenta que la estimación de las  $\overline{UF}$  tiene un carácter climático, la fórmula [6] se aplicará usando los valores de  $\overline{t_m}$  y  $\overline{A}$ , así como la  $DD$  media mensual. La aplicación del método de M. Hallaire a los datos de algunas localidades argentinas permitió obtener diferencias aceptables (Cuadro N°6) para el fin perseguido, esto es, estimar la cantidad de horas diarias incluidas en cada rango de la escala de las  $UF$ .

Como el cómputo de las  $th$  y su posterior transformación en  $UF$  puede resultar engorroso, se han confeccionado al efecto las tablas del Cuadro N°7, las cuales facilitan la obtención de las  $UF$  totalizadas diariamente según la  $tm$ . Una vez estimada la distribución mensual de temperaturas mínimas por aplicación del procedimiento con  $\overline{th}$  o con  $\Sigma t$ , el cómputo de las  $UF$  resulta sencillo seleccionando la tabla con la  $DD$  más próxima y entrando a la misma con la amplitud mensual climática correspondiente.

#### Ejemplo integral sobre el método de estimación de las $\overline{UF}$ .

En el Cuadro N°8 se muestra el procedimiento completo del sistema de estimación propuesto, aplicándolo a los datos correspondientes al mes de julio, en Buenos Aires, para el período 1976-85. Para el mismo período, los valores climáticos observados para los diversos elementos incluidos en el método son :

\* Temperatura máxima media :  $\overline{tM} = 15,6^{\circ}C$

\* Temperatura mínima media :  $\overline{t_m} = 7,7^{\circ}C$

\* Desviación típica de  $t_m$  :  $\sigma_{t_m} = 1,1919^{\circ}C$

Desviación típica diaria :  $\sigma_d = 3,7520^{\circ}C$

\* Frecuencia media heladas :  $\overline{th} = 0,6^{\circ}C$

\* Duración media del día :  $DD = 10,1$  hs

Unidades de frío :  $\overline{UF} = 256$  .

Los marcados \* son los indispensables para aplicar el método.

En el Cuadro N°8 se aplican las dos formas propuestas, es decir, con  $\overline{th}$  y con  $\Sigma t$ . Las cifras de las columnas  $UFd$  en ambos cuadros se extrajeron de las tablas del Cuadro N°7 para las  $tm$  indicadas en las columnas 6 y 8, respectivamente. El producto de las  $UFd$  por los  $di$  de cada línea produce las  $UFt$  de la columna final, cuya suma algebraica conduce al valor  $\overline{UF}$  buscado.