

NOTA DE INVESTIGACION

UNA NUEVA TECNICA PARA CALCULAR SUMAS TERMICAS Y SU APLICACION EN CHILE¹⁻²

A NEW METHOD FOR CALCULATING HEAT SUMS AND ITS APPLICATION TO CHILE

JULIO R. GUTIERREZ y ERNST R. HAJEK

Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Ciencias Biológicas, Departamento de Biología Ambiental y de Poblaciones

SUMMARY

By knowing the annual course of mean temperature it is possible to determine the amount of growing degree-days, as well as the onset, the end and consequently the extension of growing seasons in Chile by integrating the equations which define the temperature as a function of time. The following equation was used for the calculations:

$$GDD = a_0 \int_{t_1}^{t_2} dt + A_v \int_{t_1}^{t_2} \cos(t_i - \phi) dt - Tb(t_2 - t_1)$$

where GDD is the growing degree-days, a_0 is the mean annual temperature. A is the difference between the maximum value reached by the temperature and the mean a_0 , t_i is the time in days, starting from the first climatological week, ϕ represents the day in which the curves reach their maximum value, and Tb is the base temperature. Times t_1 and t_2 are between the intercept points of the estimated curve and the base temperature. For points lower than t_1 and higher than t_2 the value of GDD is equal to 0.

No statistical differences between observed and predicted values were found.

INTRODUCCION

En un trabajo previo Gutiérrez y Hajek (1979) han demostrado que la distribución anual de temperaturas máximas y mínimas en localidades chilenas se aproximan a una función coseno. De esto resulta claro que la distribución de tempe-

raturas medias debería seguir un curso similar. Dado que las sumas térmicas se basan en temperaturas medias, se tendría así un método rápido para calcular los grados-día acumulados al integrar las ecuaciones que definen dichas distribuciones de temperaturas como función del tiempo. La ecuación resultante sería la siguiente:

¹Publicación aprobada por el Comité Editor de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica, con el N° 208/79. Fecha de recepción: 30 de julio de 1979.

²Trabajo financiado por Proyecto DIUC 78/77.

$$GDA = a_0 \int_{t_1}^{t_2} dt + A \int_{t_1}^{t_2} \cos(t_i - \phi) dt - Tb(t_2 - t_1)$$

donde GDA es grados-día acumulados, a_0 es la temperatura media anual, A es la diferencia entre el valor máximo alcanzado por las temperaturas medias y a_0 , t_i es tiempo (en días), ϕ es el día en el que se alcanza la temperatura media más alta, T_b es la temperatura umbral o base. Los tiempos t_1 y t_2 están entre los puntos de intersección de la curva calculada por la ecuación que describe la distribución de temperaturas y la temperatura base T_b (Figura 1). A tiempos menores que t_1 y mayores que t_2 los grados-día acumulados son iguales a 0.

La importancia de los grados-día acumulados para las plantas de cultivo ha sido ampliamente discutida por Hajek, Rodri-

guez y Damm (1977) y Hajek y Gutiérrez (1978, 1979).

El presente trabajo tiene por objeto: i) determinar las constantes que definen la distribución anual de temperaturas medias en diversas localidades chilenas y, ii) a partir de estas ecuaciones calcular las sumas térmicas y compararlas con los valores observados.

METODOS

Se usaron datos de temperaturas de 39 localidades chilenas ubicadas entre Arica (18°28' S, y 70°22' W) y Punta Arenas (53°10' S, 70°54' W). Los valores corresponden al periodo 1965-1970 y fueron recopi-

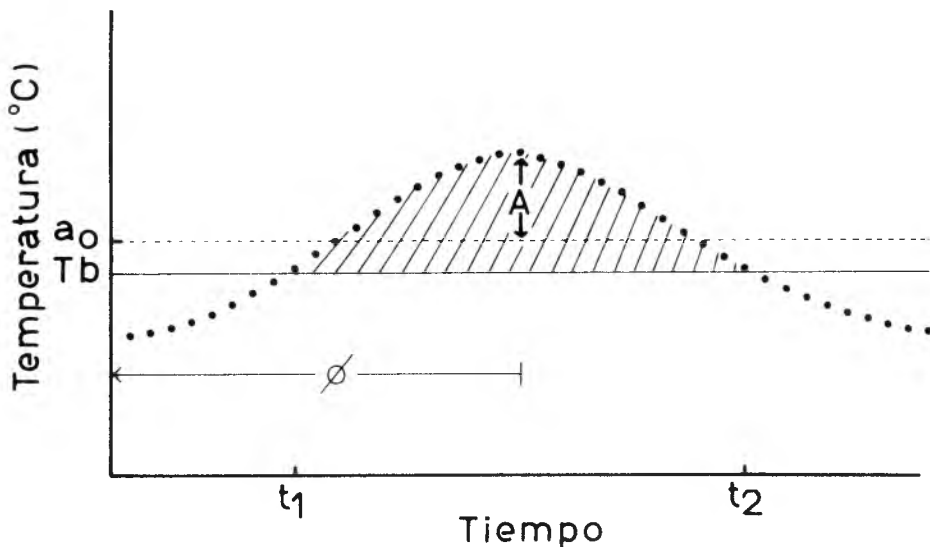


FIGURA 1
 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS TERMINOS a_0 , A y ϕ QUE DEFINEN LA CURVA DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO; T_b ES LA TEMPERATURA BASE. LA SUPERFICIE ACHURADA CORRESPONDE A LA ACUMULACION ANUAL DE GRADOS-DIAS; t_1 y t_2 INDICAN EL INICIO Y TERMINO DE LA ACUMULACION DE TEMPERATURAS

Explanation of terms a_0 , A and ϕ in the calculation of temperature as a function of time; T_b is the base temperature. The hatched area corresponds to the accumulated annual growing degree-days; t_1 and t_2 indicate the onset and end of the accumulation of temperatures

lados de registros de la Oficina Meteorológica de Chile. Se determinó los valores de a_0 , A y ϕ , y se calculó los grados-día acumulados en un computador PDP 8/L del Laboratorio de Ecología, Universidad Católica.

RESULTADOS Y DISCUSION

El curso anual de temperaturas medias muestra un buen ajuste a una función coseno para las localidades analizadas. La Figura 2 representa la distribución de tem-

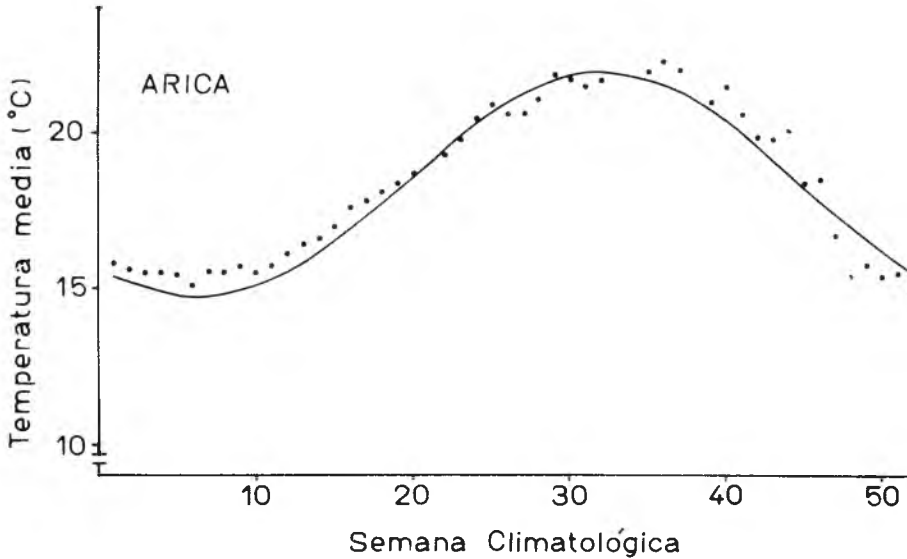
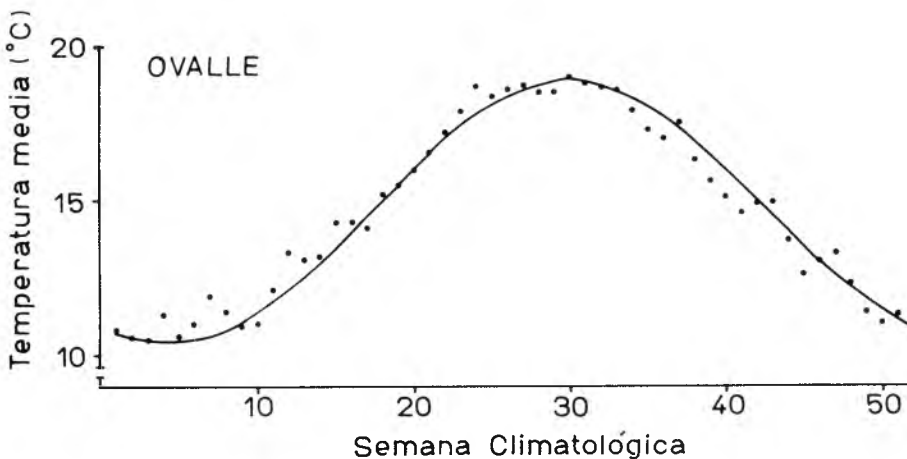
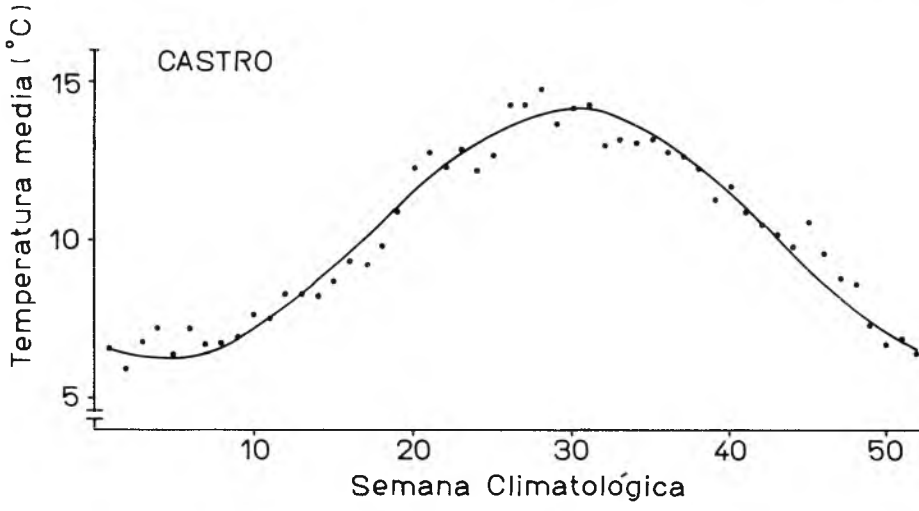
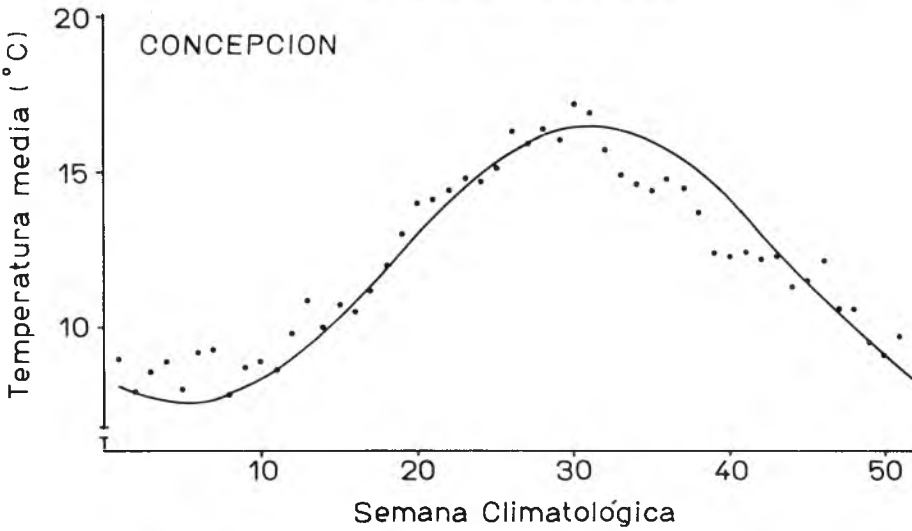
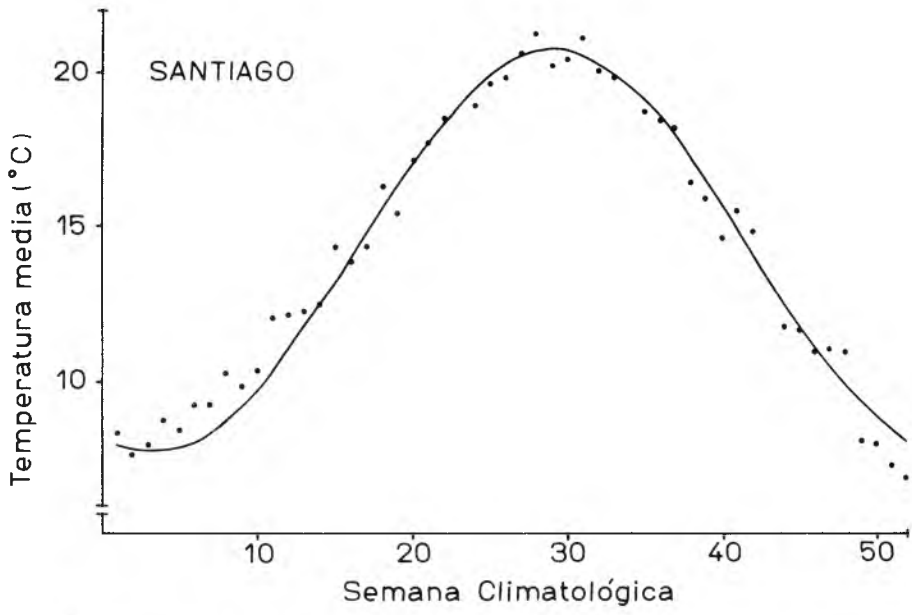


FIGURA 2

TEMPERATURAS MEDIAS SEMANALES OBSERVADAS (PUNTOS) Y ESTIMADAS (CURVAS) POR LA FUNCION COSENO EN LAS LOCALIDADES DE ARICA (18°28' S), OVALLE (30°36' S), SANTIAGO (33°27' S), CONCEPCION (36°50' S) Y CASTRO (42°29' S)

Weekly mean temperatures observed (dots) and predicted (solid lines) by means of the cosine function for some selected stations. These are southwards: Arica (18°28' S), Ovalle (30°36' S), Santiago (33°27' S), Concepción (36°50' S), Castro (42°29' S)





peraturas medias (observadas) para el año climatológico, definido por Hajek, Rodríguez y Damm (1977) y la curva obtenida al ajustar la función coseno a los datos para algunas localidades representativas de Chile. En todos los casos un test de X^2 fue usado para determinar si las diferencias entre valores esperados y observados eran significativas, obteniéndose probabilidades mayores que 0,99. Las constantes que definen la función coseno para las localidades analizadas se muestran en el Cuadro 1. La constante a_0 disminuye con el aumento de la latitud. Esta relación es similar a la obtenida por Gutiérrez y Hajek (1979), en relación a las temperaturas máximas y mínimas.

Al conocer el curso anual de temperaturas es posible determinar la cantidad de grados-día acumulados, tanto como el inicio, el término y por consiguiente la extensión del período vegetativo en Chile, al integrar las ecuaciones que definen la distribución de temperaturas en función del tiempo. En la Figura 3 se muestran los valores de grados-día acumulados, observados y esperados por esta ecuación para algunas localidades. En el Cuadro 2 se entregan los grados-día acumulados anuales, bases 5°C y 10°C, observados y estimados por la función coseno. No fueron detectadas diferencias estadísticas entre los valores observados y esperados.

En resumen, es posible ajustar una función coseno a los datos de temperaturas para las diferentes localidades de este país, prediciendo el curso anual de temperaturas y por lo tanto, la duración del período vegetativo y los grados-día acumulados. Se considera que el método descrito en este trabajo, es una herramienta práctica para ser usada en actividades relacionadas con la agricultura y para evitar procesos tediosos en el cálculo de sumas térmicas.

CUADRO 1

CONSTANTES QUE DEFINEN LA FUNCIÓN
COSENO PARA TEMPERATURAS
MEDIAS EN LOCALIDADES CHILENAS
*Constants defining the cosine function for mean
temperatures in Chilean localities*

Localidades Localities	a_0	A	ϕ
Arica	18,30	3,6	224
Iquique	17,52	3,0	224
Pica	18,46	2,0	217
Antofagasta	15,88	3,6	224
Chañaral	15,53	3,9	217
Potrerrillos	11,43	2,7	224
Caldera	16,25	4,0	294
Copiapó	15,04	4,2	217
Vallenar	14,63	4,2	203
La Serena	13,20	5,0	203
Ovalle	14,58	4,2	210
Quintero	12,64	3,5	217
Valparaíso	13,95	3,5	217
Santiago	14,18	6,5	203
Rancagua	12,88	6,5	210
San Fernando	12,70	6,5	203
Curicó	12,64	6,8	217
Constitución	12,50	6,8	217
Linares	12,54	6,5	210
Chillán	12,48	6,3	210
Concepción	12,03	4,5	217
Los Angeles	12,53	6,2	210
Victoria	10,35	5,5	210
Temuco	11,20	5,0	210
Loncoche	11,53	6,0	210
Valdivia	11,40	4,6	210
Osorno	10,50	5,0	210
Puerto Montt	10,03	4,5	210
Ancud	9,78	4,0	210
Castro	10,16	4,0	210
Futaleufú	9,00	6,0	210
Río Cisnes	5,98	6,0	210
Puerto Aisén	9,18	4,7	210
Balmaceda	6,50	6,0	210
Chile Chico	10,13	6,2	203
Cerro Guido	6,70	5,5	210
Evangelistas	6,53	2,4	210
Punta Dungenes	7,45	5,0	196
Punta Arenas	5,80	4,8	217

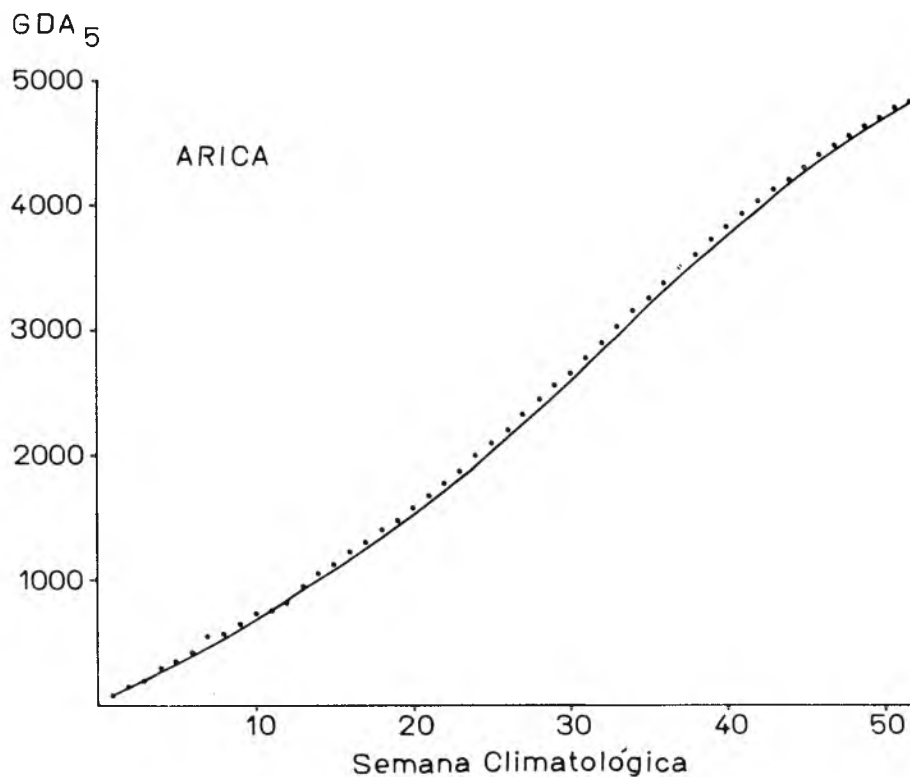
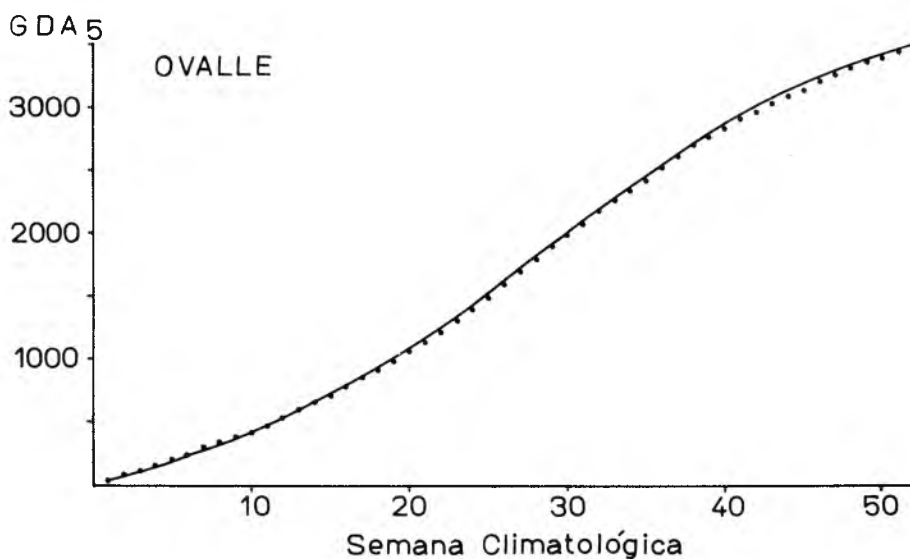
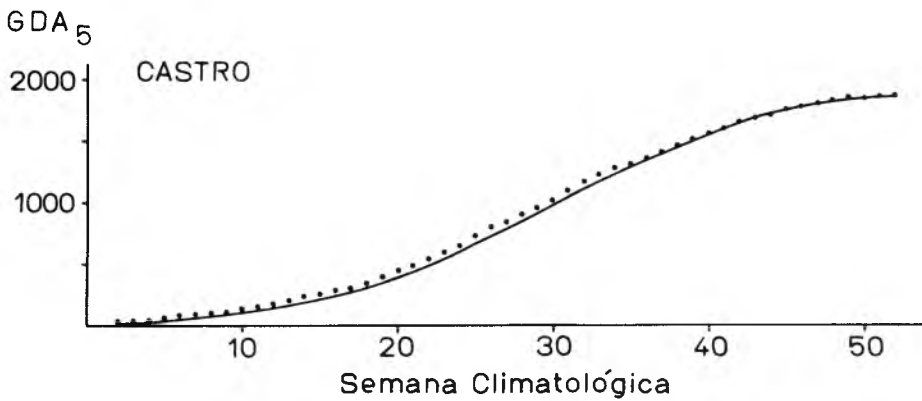
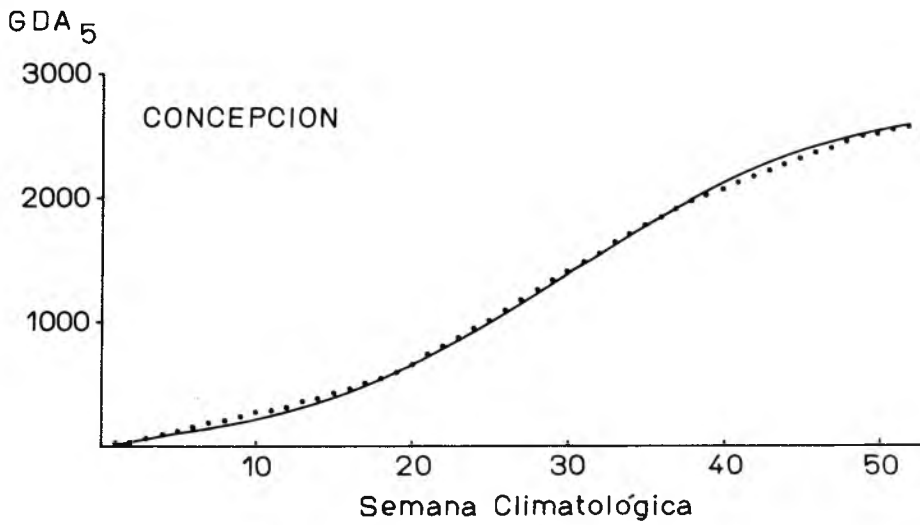
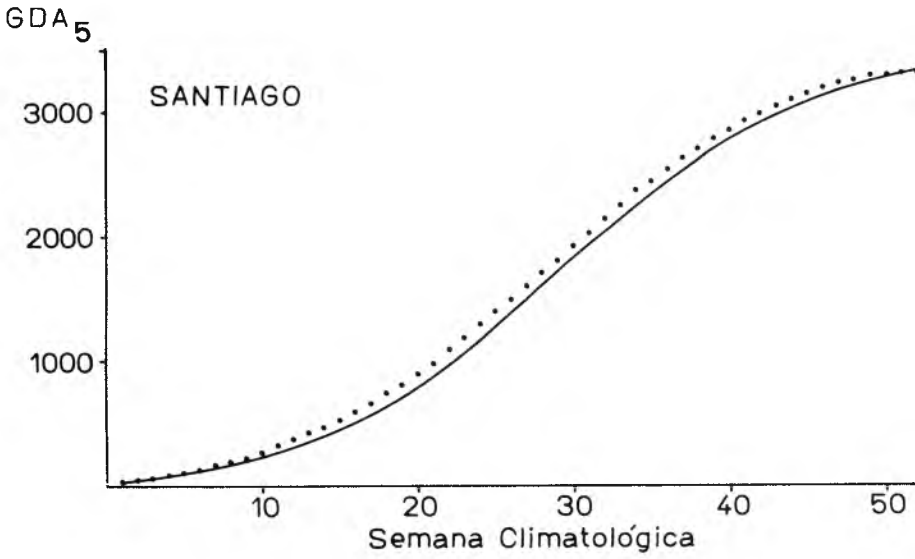


FIGURA 3

GRADOS-DIA ACUMULADOS BASE 5°C (GDA₅) OBSERVADOS (PUNTOS) Y ESTIMADOS (CURVAS) POR LA FUNCION COSENO EN LAS LOCALIDADES DE ARICA, OVALLE, SANTIAGO, CONCEPCION Y CASTRO

Observed (dots) and predicted (solid lines) growing degree-days base 5°C for some selected stations. These are southwards: Arica, Ovalle, Santiago, Concepción, Castro





CUADRO 2
 GRADOS-DIA ACUMULADOS ANUALES, BASES 5°C Y 10°C, OBSERVADOS Y
 ESPERADOS POR LA FUNCION COSENO PARA LOCALIDADES CHILENAS
*Annual accumulated degree-days, bases 5°C and 10°C, observed and predicted by the cosine
 function for Chilean localities*

Localidades Localities	Base 5°C		Base 10°C	
	Observado Observed	Esperado Expected	Observado Observed	Esperado Expected
Arica	4858	4830	3026	3010
Iquique	4490	4548	2642	2728
Pica	4895	4893	3072	3073
Antofagasta	3951	3950	2125	2130
Chañaral	3833	3820	2008	2000
Potrerrillos	2370	2332	816	602
Caldera	4087	4101	2262	2281
Copiapó	3651	3641	1696	1821
Vallenar	3493	3490	1696	1670
La Serena	2962	3115	1188	1279
Ovalle	3481	3472	1690	1652
Quintero	2743	2769	1006	997
Valparaiso	3262	3246	1449	1426
Santiago	3335	3317	1706	1657
Rancagua	2884	2845	1370	1338
San Fernando	2825	2779	1340	1296
Curicó	2809	2759	1315	1314
Constitución	2722	2717	1022	1001
Linares	2774	2722	1267	1260
Chillán	2741	2700	1229	1225
Concepción	2547	2544	940	934
Los Angeles	2752	2719	1228	1226
Victoria	2005	1931	736	694
Temuco	2269	2239	795	805
Loncoche	2405	2356	920	985
Valdivia	2259	2314	742	798
Osorno	2016	1984	652	665
Puerto Montt	1867	1815	530	521
Ancud	1744	1726	413	419
Castro	1885	1864	516	487
Futaleufu	1642	1567	557	517
Río Cisnes	901	873	194	125
Puerto Aisén	1620	1524	457	399
Balmaceda	1003	979	216	178
Chile Chico	2022	1895	797	734
Cerro Guido	1101	966	262	153
Evangelistas	645	605	7	0
Punta Dungenes	1072	1091	183	193
Punta Arenas	751	701	79	23

LITERATURA CITADA

- GUTIÉRREZ, J.R. y E.R. HAJEK, 1979. *Curvas de distribución anual de temperaturas máximas y mínimas en Chile*. Ciencia Inv. Agr., 6: 177-183.
- HAIJEK, E.R.; E. RODRÍGUEZ y A. DAMM, 1977. *Aplicación del método de las sumas térmicas para la determinación de los periodos vegetativos en Chile*. Ciencia Inv. Agr., 3: 175-180.
- HAIJEK, E.R. y J.R. GUTIÉRREZ. 1978. *Distribución de unidades térmicas en Chile*. Ciencia Inv. Agr., 5: 83-92.
- HAIJEK, E.R. y J.R. GUTIÉRREZ, 1979. *Periodos vegetativos en Chile: un enfoque basado en la temperatura*. Ciencia Inv. Agr., 6: 21-49.