

DISTRIBUCION DE UNIDADES TERMICAS EN CHILE<sup>1, 2</sup>

## DISTRIBUTION OF THERMAL UNITS IN CHILE

ERNST R. HAJEK y JULIO GUTIERREZ<sup>3</sup>*Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Ciencias Biológicas,  
Departamento de Biología Ambiental y de Poblaciones*

## SUMMARY

*A well known and documented fact is the relationship between growth and development of plants and the accumulation of temperature. The classical method of determining heat sums is based on the use of daily mean temperatures.*

*Temperature values normally found in climatological records (i.e. monthly or annual means) have been related with temperature accumulations. In Chile it is possible to predict the accumulation of temperature from the annual mean temperature ( $r = .995$ ,  $P < .001$ , for base 5 °C and  $r = .984$ ,  $P < .001$ , for base 10 °C), or from the mean monthly temperature of January. In this latter case a good adjustment with an exponential curve ( $r = .76$ ,  $P < .001$ , base 5 °C,  $r = .78$ ,  $P < .001$ , base 10 °C) is found, but precautions should be taken in using it for predictive purposes, due to the great deviation of real accumulated degree-days as compared with those estimated by the equations. Accumulated temperatures, base 5 °C and 10 °C are presented as isolines in maps for Chile.*

## INTRODUCCION

Una situación relativamente conocida y bien documentada es la relación que existe entre la acumulación térmica y el crecimiento y desarrollo de las plantas (Holmes y Robertson, 1959). Se entiende por crecimiento el aumento en volumen o peso de una planta en el intervalo de tiempo de una fase, y por desarrollo el paso de una fase a otra durante su ciclo de vida. Las unidades térmicas han sido ampliamente aceptadas por satisfacer necesidades prácticas, más que por sus bases de sustentación teórica (Wang, 1960).

La acumulación térmica o grados-día es la acumulación de las diferencias diarias entre una temperatura media y una base que se fija en relación a la planta que se estudia, o en forma arbitraria. Generalmente se usan los valores de 5 y 10 °C como base para las computaciones, por corresponder a umbrales importantes para la mayoría de las plantas de cul-

tivo. Las diferencias diarias se suman hasta el momento en que la planta ha alcanzado su madurez o que el curso de las temperaturas medias diarias se aproxima a la temperatura base. Los cálculos habitualmente se inician cuando las temperaturas medias diarias comienzan a superar las bases que se han planteado y se terminan cuando las temperaturas nuevamente descienden bajo este umbral. Estos períodos se denominan períodos de crecimiento o períodos vegetativos, y difieren en los distintos países y regímenes climáticos. En el hemisferio norte normalmente se define el 1º de marzo como el comienzo de la semana climatológica número 1 (Dethier y Vittum, 1963). En nuestro país, Hajek, Rodríguez y Damm (1976) han definido el 1º de julio como la fecha de inicio de la acumulación de temperaturas y el 30 de junio del año siguiente como término de la última semana climatológica. Estos autores han hecho una aplicación del método de las sumas térmicas para

<sup>1</sup> Publicación aprobada por el Comité Editor de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica, con el N° 151-78.

<sup>2</sup> Trabajo financiado por Proyectos FIUC 48/75 y DIUC 78/77.

<sup>3</sup> Ayudante Proyecto REDFENO (DIUC 78/77).

establecer períodos vegetativos en Chile, utilizando esencialmente la base 10 °C y presentando los resultados del período 1965-1966. En ese trabajo se determinó en forma preliminar las extensiones de los períodos vegetativos (base 10 °C) en un gradiente latitudinal en Chile, tomando la temperatura media diaria como base para las computaciones.

La obtención de los grados-día o unidades térmicas por acumulación diaria es en sí un proceso bastante tedioso, y en las estadísticas climatológicas publicadas en nuestro país normalmente no se especifican las temperaturas extremas y media diaria, sino que las temperaturas extremas y medias mensuales y anuales. En este sentido, existen también mapas de isotermas estacionales y anuales (Almeyda y Sáez, 1958; Huber, 1975), por lo que sería de gran valor práctico poder predecir acumulaciones térmicas a partir de temperaturas medias mensuales, estacionales o anuales, haciendo luego el trazado de las respectivas isolíneas.

El objetivo de este trabajo es determinar sumas térmicas en Chile, base 5 °C y 10°C, utilizando las temperaturas mensuales y anuales de los archivos o estadísticas climatológicas y representar éstas en forma de mapas de isolíneas.

## MATERIALES Y METODOS

Los datos de temperatura se obtuvieron de los registros de la Oficina Meteorológica de Chile y corresponden al período 1965-1970. Se trabajó con un total de 43 Estaciones localizadas entre Arica (18° 28' lat. S y 70° 19' long. W) y Punta Arenas (53° 10' lat. S y 70° 55' long. W). Se determinó las temperaturas medias diarias, medias mensuales y media anual a partir de cuatro valores diarios (08,20 horas, máxima y mínima). Se calculó los grados-día diarios y acumulados de diferentes bases, utilizando en este trabajo las de 5 °C y 10 °C.

Se relacionó la temperatura media anual y la temperatura media del mes de enero, con la acumulación térmica. A partir de las ecuaciones que representan las relaciones entre ambas variables, se estimaron los grados-día acumulados para diferentes temperaturas medias anuales. Con esta información se procedió a dibujar mapas de isolíneas de unidades térmicas, usando como base los mapas de isotermas anuales trazados por Huber (1975).

## RESULTADOS

La relación entre temperatura media anual y los grados-día acumulados, base 5 °C, se puede expresar en forma simple por una regresión lineal (figura 1). La ecuación para la línea de regresión es:

$$GDA_5 = - 1315.18 + 331.38 \bar{T}$$

donde  $GDA_5$  son los grados-día acumulados base 5 °C y  $\bar{T}$  la temperatura media anual. La correlación es altamente significativa ( $r = .995$ ;  $P < 0.001$ ) y podemos determinar con bastante precisión los grados-día acumulados en un año, a partir de las medias anuales. Los valores estimados se aproximan más a los reales cuando la temperatura media anual es superior a 8 °C. En Chile, alrededor del 80% de las temperaturas medias anuales son superiores a 8 °C (figura 2).

La relación entre la temperatura media anual y los grados-día acumulados base 10 °C se muestra en la figura 3. Para calcular la línea de regresión se consideró sólo aquellas temperaturas superiores a 10 °C, debido a que bajo esa temperatura la acumulación térmica es despreciable y la fluctuación es muy alta. La ecuación para esta regresión es:

$$GDA_{10} = - 1489.90 + 293.98 \bar{T}$$

donde  $GDA_{10}$  es la acumulación térmica base 10 °C y  $\bar{T}$  la temperatura media anual. La correlación es de .984 ( $P < .001$ ).

Como también existe una correlación significativa ( $r = .91$ ;  $P < .001$ ) entre la temperatura media anual y la temperatura del mes de enero (figura 4), podríamos predecir los  $GDA$  anuales a partir de esta última. Con este fin se construyeron las curvas que se muestran en las figuras 5 y 6 para relacionar ambas variables, obteniéndose un buen ajuste con una curva exponencial. Las ecuaciones de las curvas son:

$$GDA_5 = 196.56 \times e^{.15 \bar{T}_e}$$

$$GDA_{10} = 13.33 \times e^{.25 \bar{T}_e}$$

donde  $GDA_5$  es la acumulación de grados-día base 5 °C,  $GDA_{10}$  la acumulación de grados-día base 10 °C, y  $\bar{T}_e$  la temperatura media del mes de enero. La correlación en ambos casos es significativa ( $r = .76$  y  $.78$ , respecti-

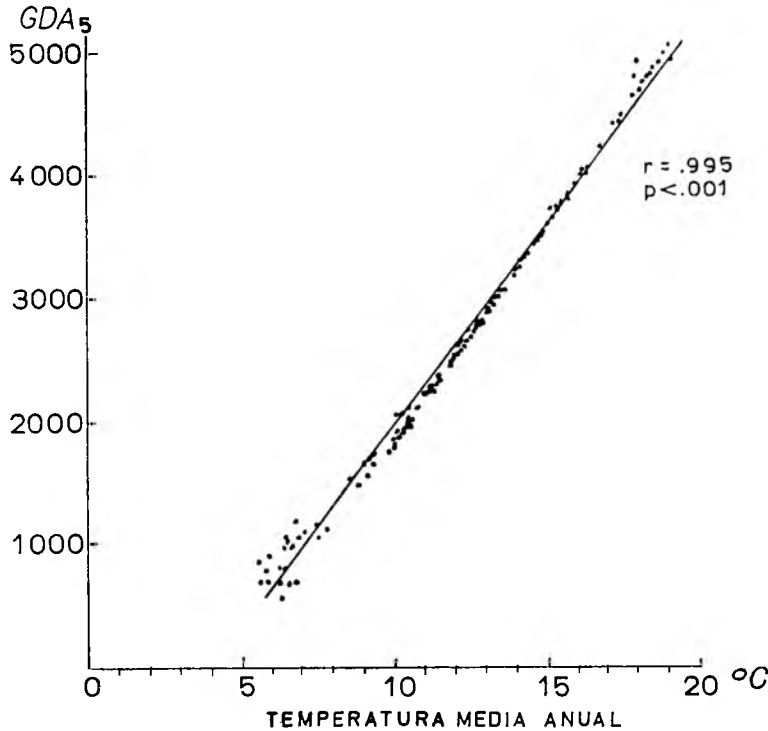


FIGURA 1

RELACION ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL Y LOS GRADOS-DIA ACUMULADOS, BASE 5 °C

*Relation between the annual mean of temperature and accumulated degree-days, base 5 °C*

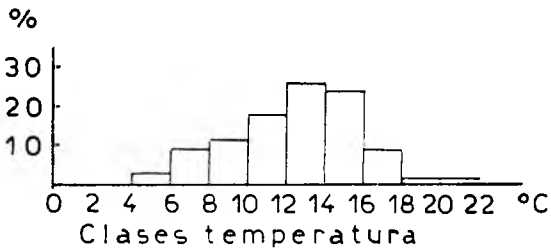


FIGURA 2

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURAS EN CHILE

*Histogram of frequencies of temperatures in Chile*

vamente,  $P < .001$ ). A pesar de esta relación se debe proceder con cautela en la consideración de estos datos, debido a que existe una gran desviación de los GDA reales con respecto a los estimados por las ecuaciones.

En la figura 7 a-e se muestra un esquioc de Chile con la distribución de los grados-día acumulados base 5 °C y en la figura 8 a-e para la base 10 °C.

## DISCUSION

Dado que los grados-día acumulados que se han dibujado en los mapas corresponden en forma muy estrecha a las temperaturas medias anuales, siguen, obviamente, las mismas tendencias y es posible argumentar consideraciones similares a las hechas para describir las isotermas anuales en Chile (Huber 1975).

En el caso de los grados-día acumulados base 5 °C, en la zona norte de Chile, existe un gradiente de acumulación térmica de 4.000 grados entre el sector costero y el sector altiplánico. En toda el área, hasta aproximadamente la latitud 40, existe una disposición vertical de las isolíneas, disminuyendo sus valores de oeste a este. En el norte del país existe, entonces, muy poca variación en el sentido latitudinal y el gradiente más fuerte se observa en el sentido longitudinal. En el sur, en cambio, el gradiente es más bien latitudinal.

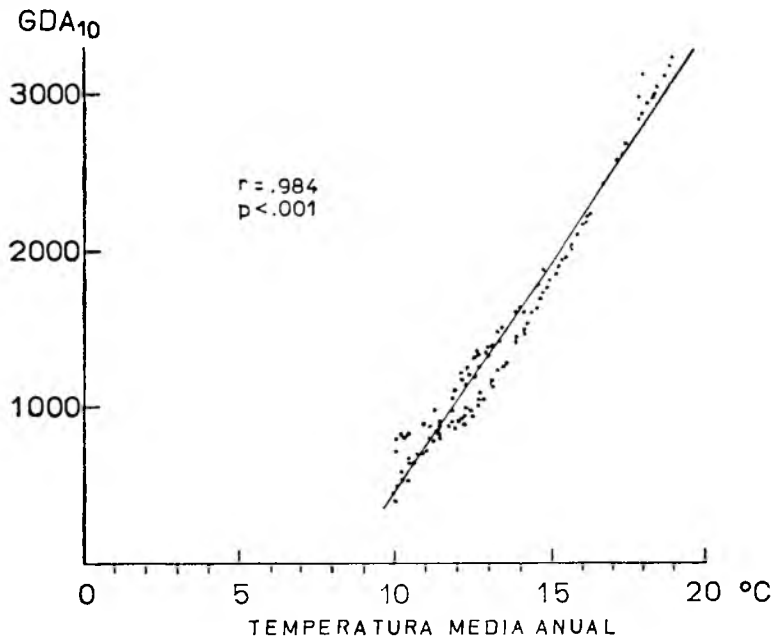


FIGURA 3

RELACION ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL Y LOS GRADOS-DIA ACUMULADOS, BASE 10 °C

*Relation between the annual mean temperature and accumulated degree-days, base 10 °C*

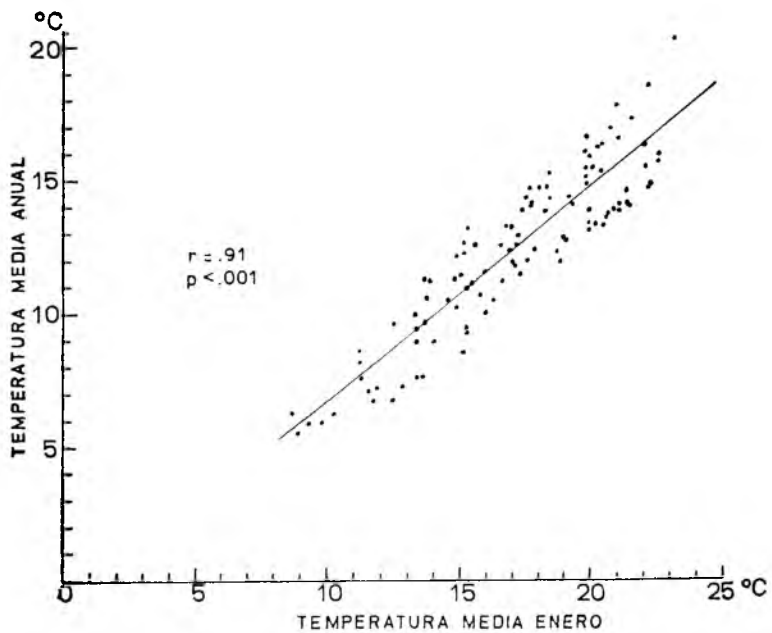


FIGURA 4

RELACION ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA DE ENERO Y LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL

*Relation between the mean temperature of January and the annual mean temperature*

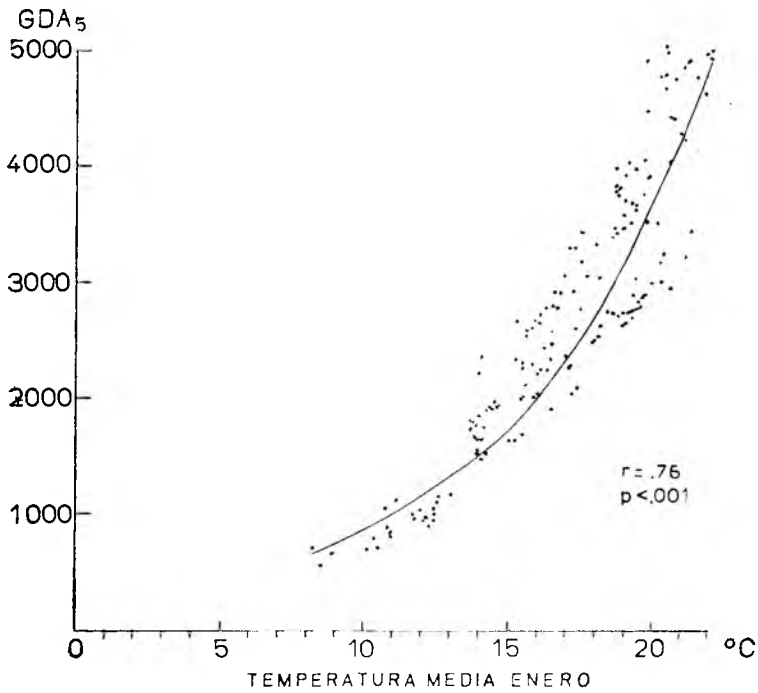


FIGURA 5

RELACION ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA DE ENERO Y  
LOS GRADOS-DIA ACUMULADOS, BASE 5 °C

*Relation between the mean temperature of January and accumulated de-  
gree-days, base 5 °C*

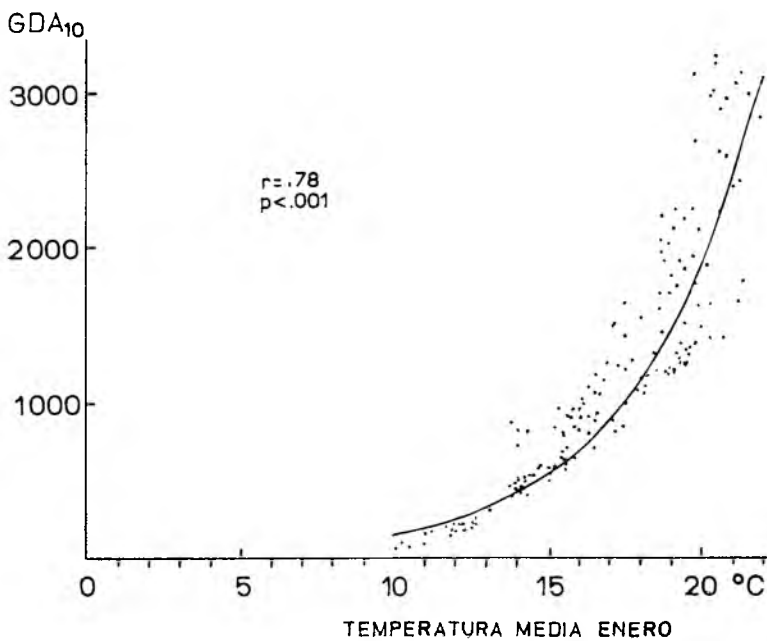


FIGURA 6

RELACION ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA DE ENERO Y LOS  
GRADOS-DIA ACUMULADOS, BASE 10 °C

*Relation between the mean temperature of January and accumulated de-  
gree-days, base 10 °C*

FIGURA 7

MAPA DE DISTRIBUCION DE UNIDADES TERMICAS EN CHILE, BASE 5 °C  
 Map of distribution of thermal units in Chile, base 5 °C

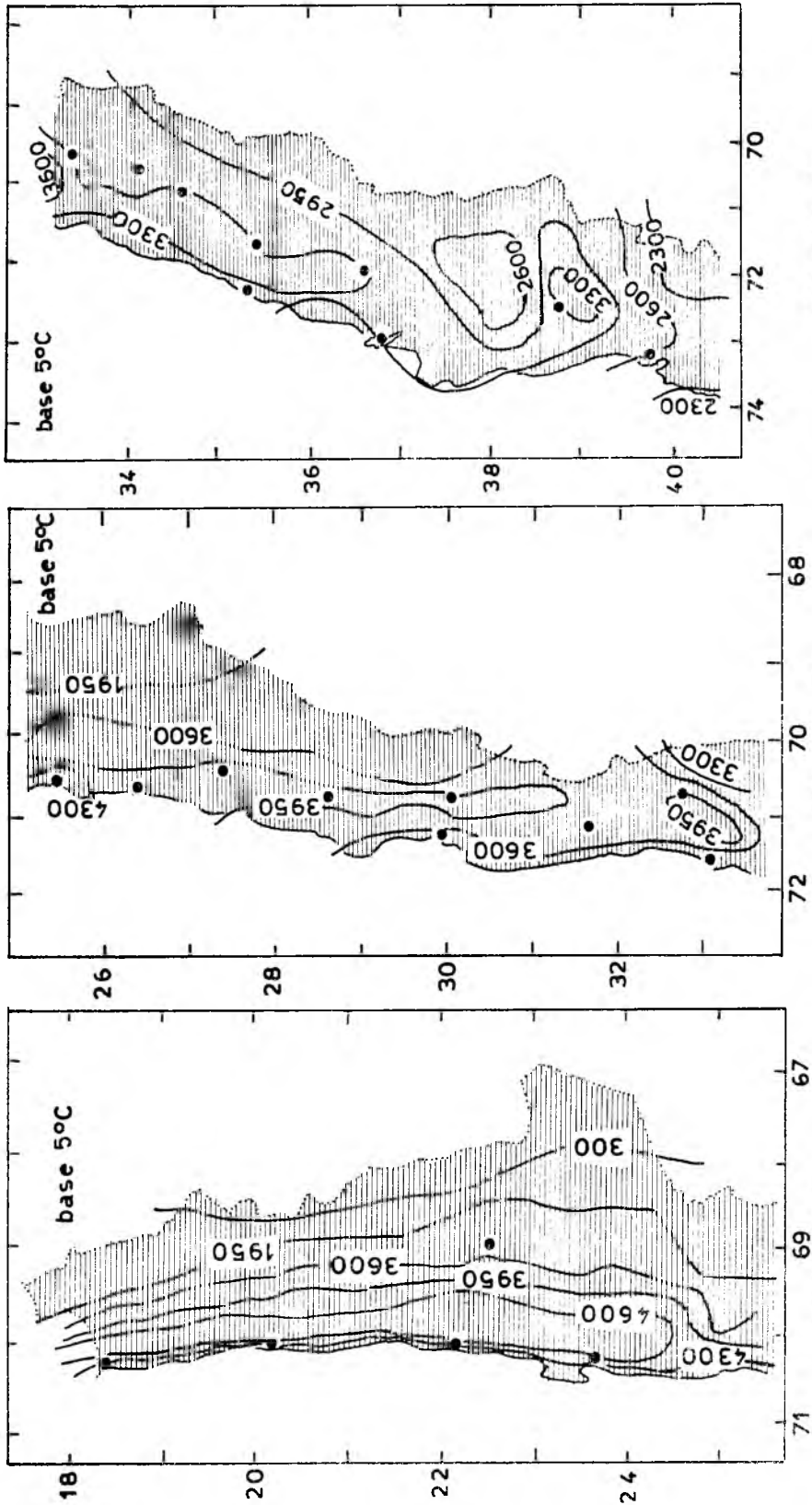


FIGURA 7-a

LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A ARI-  
 CA, IQUIQUE, TOCOPILLA, CALAMA, ANTO-  
 FAGASTA

The southward sequence of localities is: Arica,  
 Iquique, Tocopilla, Calama, Antofagasta

FIGURA 7-b

LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A TAL-  
 TAL, CHANARAL, COPIAPO, VALLENAR, LA  
 SERENA, VICUÑA, ILLAPEL, SAN FELIPE,  
 VALPARAISO

The southward sequence of localities is: Talta,  
 Chanaral, Copiapó, Vallenar, La Serena, Vicuña,  
 Illapel, San Felipe, Valparaíso

FIGURA 7-c

LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A SAN-  
 TIAGO, RANCAGUA, SAN FERNANDO, CONS-  
 TITUCION, TALCA, CHILLAN, CONCEPCION,  
 TEMUCO, VALDIVIA

The southward sequence of localities is: Santiago,  
 Rancagua, San Fernando, Constitución, Talca, Chi-  
 llán, Concepción, Temuco, Valdivia

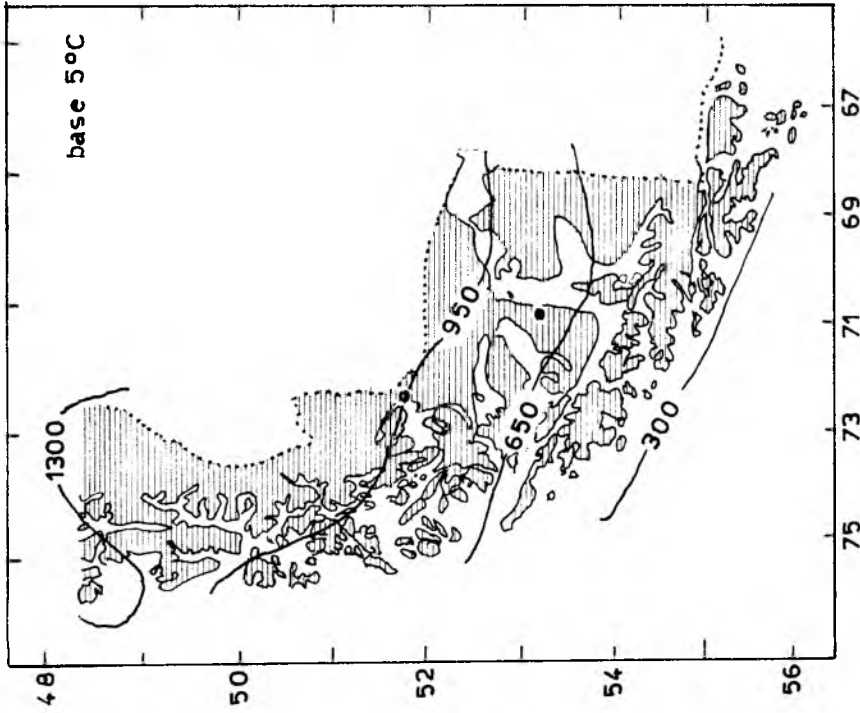


FIGURA 7-e

LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A PUERTO NATALES,  
PUNTA ARENAS

*The southward sequence of localities is: Puerto Natales, Punta Arenas*

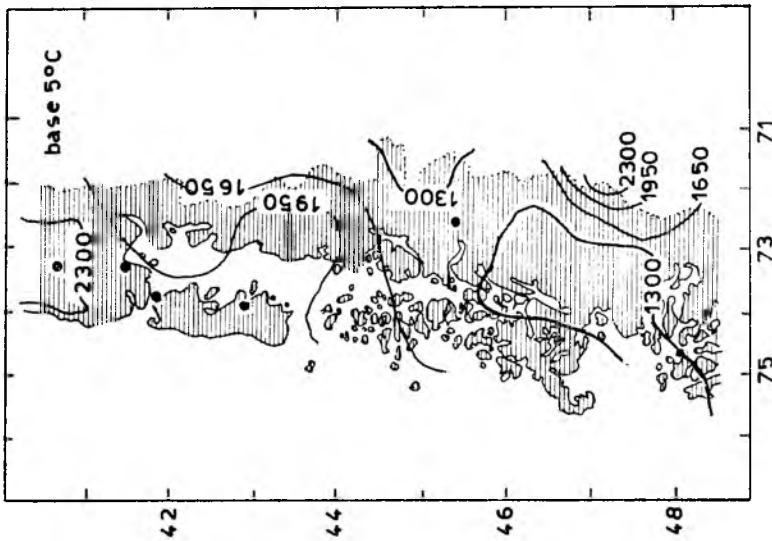


FIGURA 7-d

LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A  
OSORNO, PUERTO MONTT, ANCUD, CAS-  
TRO, PUERTO AYSÉN

*The southward sequence of localities is: Osorno, Puerto Montt, Ancud, Castro, Puerto Aysén*

FIGURA 8  
 MAPA DE DISTRIBUCION DE UNIDADES TERMICAS EN CHILE, BASE 10 °C  
 Map of distribution of thermal units in Chile, base 10 °C

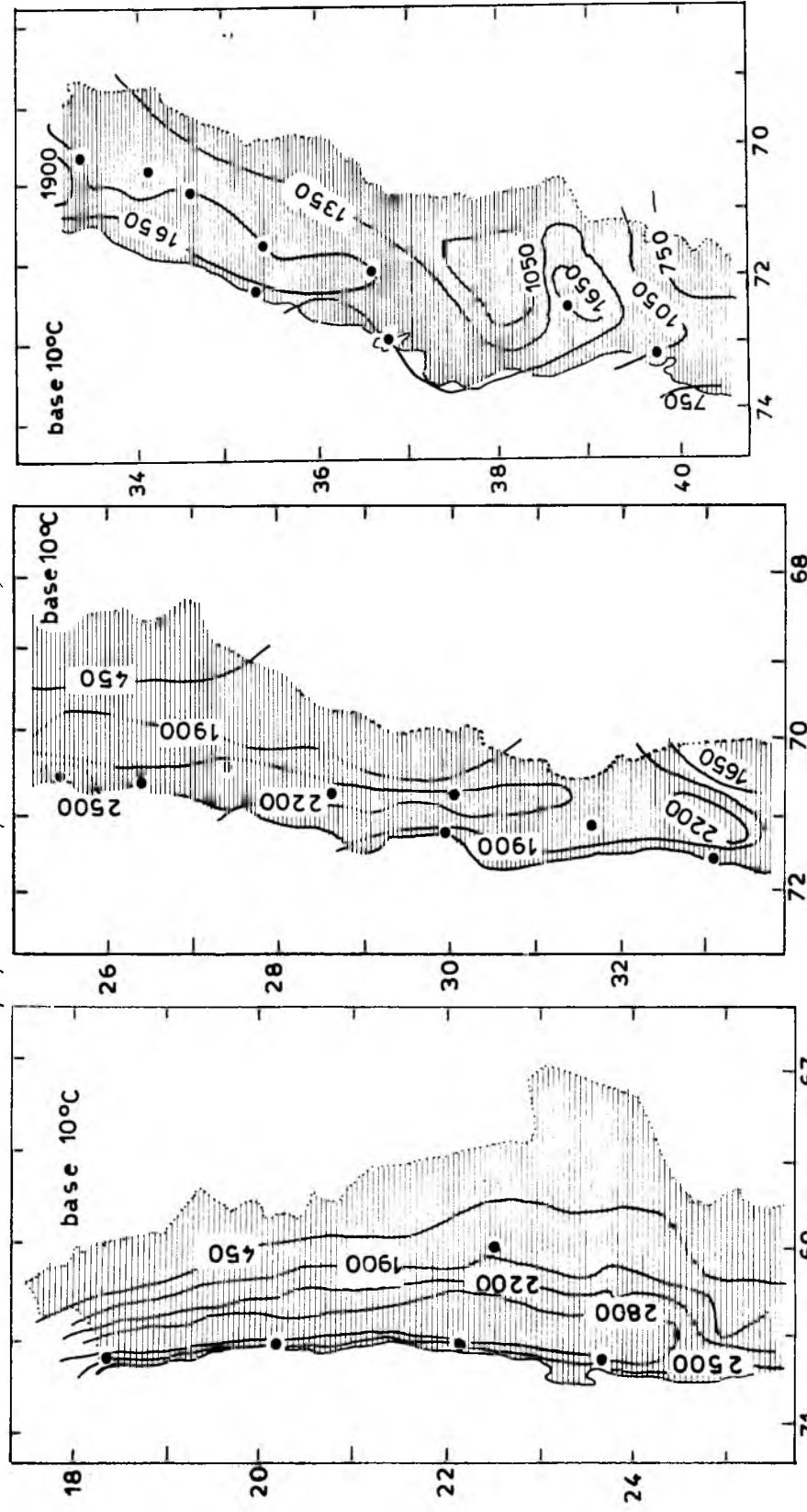


FIGURA 8-a  
 LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A ARI-  
 CA, IQUIQUE, TOCOPILLA, CALAMA, ANTO-  
 FAGASTA

The southward sequence of localities is: Arica, Iquique, Tocopilla, Calama, Antofagasta

FIGURA 8-b  
 LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A TAL-  
 TAL, CHANARAL, COPIAPO, VALLENAR, LA  
 SERENA, VICUÑA, ILLAPEL, SAN FELIPE,  
 VALPARAISO

The southward sequence of localities is: Taltal, Chanaral, Copiapó, ValLENAR, La Serena, Vicuña, Illapel, San Felipe, Valparaiso

FIGURA 8-c  
 LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A SAN-  
 TIAGO, RANCAGUA, SAN FERNANDO, CONS-  
 TITUCION, TALCA, CHILLAN, CONCEPCION,  
 TEMUCO, VALDIVIA

The southward sequence of localities is: Santiago, Rancagua, San Fernando, Constitución, Talca, Chi-llán, Concepción, Temuco, Valdivia



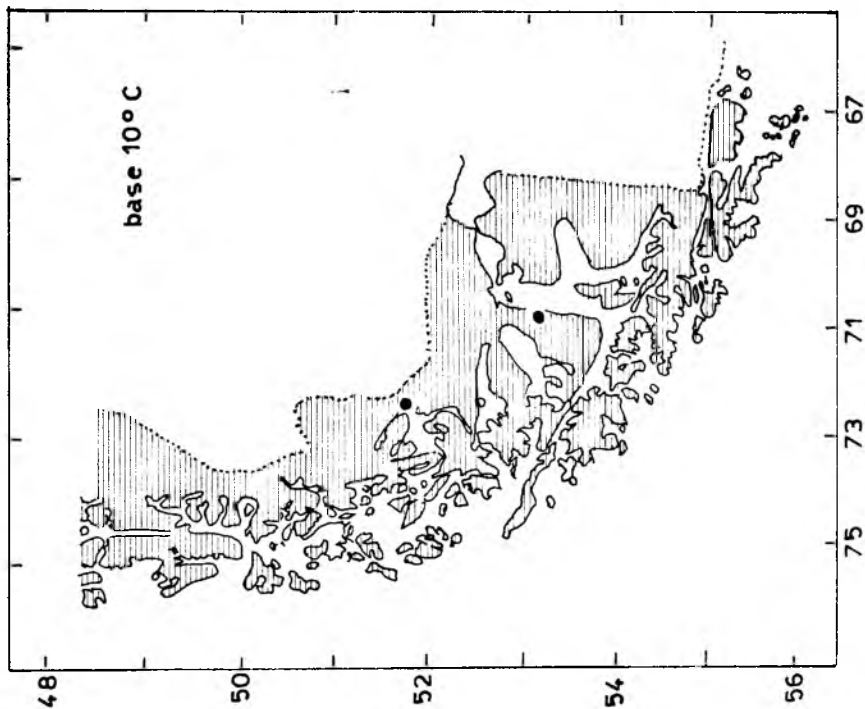


FIGURA 8-e

LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A PUERTO NATALES,  
PUNTA ARENAS

*The southward sequence of localities is: Puerto Natales, Punta Arenas*

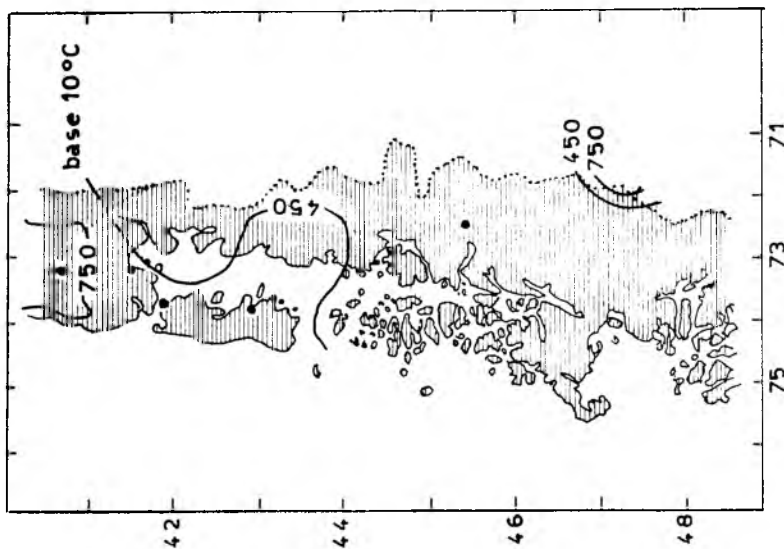


FIGURA 8-d

LAS LOCALIDADES CORRESPONDEN A  
OSORNO, PUERTO MONTT, ANCUD, CAS-  
TRO, PUERTO AISEN

*The southward sequence of localities is: Osorno, Puerto Montt, Ancud, Castro, Puerto Aysén*

A medida que se avanza hacia el sur, las altitudes de la cordillera de los Andes y de las mesetas andinas van disminuyendo (Instituto Geográfico Militar, 1970) y podemos observar que va aumentando la similitud entre la acumulación de temperaturas en la costa, al interior y en la zona precordillerana, llegando a un mínimo de 300 GDA en el extremo austral del país.

Hacia la zona austral, si bien hay una disminución paulatina de la acumulación térmica, se observa aún un incremento por la influencia de tipo continental desde el este (disminución de altitud de la cordillera de los Andes). Muchas de estas localidades se encuentran en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, con condiciones más xéricas que sectores occidentales a la misma latitud (di Castri, 1968). Ello, desde un punto de vista de la potencialidad vegetativa, permite esperar mayores probabilidades de éxito de algunos vegetales, pero es necesario recordar que se trata de una potencialidad vegetativa y que en esta zona los aumentos de temperatura van asociados a una disminución

de las precipitaciones (Hajek y di Castri, 1975).

La distribución de los grados-día acumulados, base 10 °C, es análoga a los GDA base 5 °C. Sin embargo, la acumulación tiene una limitación geográfica y sólo hay acumulación hasta los 40 grados de latitud sur, con algunas excepciones a 47°.

Desde una perspectiva agroecológica, la mayor partición de la acumulación térmica en la zona norte permitiría potencialmente una mayor diversificación de cultivos en esa área. Si por otra parte consideramos aquellos cultivos que necesitan para su desarrollo una temperatura umbral de 5 °C, éstos podrían establecerse a lo largo de todo el país, en oposición a los que requieren un umbral de 10 °C y que estarían más restringidos a las latitudes bajas.

El conocimiento de la distribución de acumulaciones térmicas en Chile, y las respuestas de las plantas a ellas, sería de gran utilidad en la determinación de zonas potenciales para los cultivos que son de importancia económica.

## RESUMEN

En este trabajo se han relacionado los datos de temperatura que normalmente se encuentran en las estadísticas climatológicas con la acumulación térmica. Es posible, de acuerdo a la información obtenida, predecir la acumulación de temperaturas en Chile y determinar los grados-día acumulados con bastante precisión. La representación, en isóneas, de las unidades térmicas, cumple fines prácticos de zonificación de cultivos agrícolas.

### LITERATURA CITADA

- ALMEYDA E. y F. SÁEZ, 1958. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. DTICA. MINAGRI, Chile.
- CASTRI F. DI, 1968. Esquisse écologique du Chili. En: Biologie de l'Amérique australe. Vol IV. CNRS. Paris.
- DETHIER B. E. y M. T. VITTMUM, 1963. Growing degree days. Bull. 801, New York St. Agr. Exp. Sta. New York.
- HAJEK E. R. y F. DI CASTRI, 1975. Bioclimatografía de Chile. Dir. Invest. Univ. Católica. Santiago: 225 p.
- HAJEK E. R., E. RODRÍGUEZ y A. DAMM, 1976. Aplicación del método de las sumas térmicas para la determinación de los períodos vegetativos en Chile. Ciencia Inv. Agr. 3(4):175-180.
- HOLMES R. M. y G. W. ROBERTSON, 1959. Heat units and crop growth. Publ. 1042. Canada Dept. Agriculture. Ottawa.
- HUBER A., 1975. Beitrag zur Klimatologie und Klimaökologie von Chile. Dissertation. Univ. München.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, 1970. Atlas de la República de Chile. IGM. Santiago.
- WANG J. Y., 1960. A critique to the heat unit approach to plant response studies. Ecology, 41: 785-790.