

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA FENOLOGIA DEL TRIGO (CULTIVAR AURIFEN)¹

Temperature effect on the phenology of wheat, cv. Aurifén

Haydeé Castillo G.² y Fernando Santibáñez Q.²

SUMMARY

The regulating effect of temperature on the phenology of wheat was determined by seedings performed at different dates.

Results showed a systematic acceleration of development, as the seeding date is closer to summer. The cycle length is reduced to one half in the hottest period of the year, in relation to the normal seeding date, emphasizing the heavy regulating effect of temperature on the velocity of this species development. Similarly, the maximum LAI reached by the crop was also decreased in summer seedings.

The accumulation of degree-days in each development stage proved relatively constant, as well as independent from the seeding date.

Development velocity (1/time between two phenologic stages) exhibited a linear function of temperature. This experiment provided basic elements to interpret the effect of the relationships temperature-development on wheat yield.

INTRODUCCION

La dinámica del desarrollo vegetal muestra en gran medida un determinismo climático, el cual se ha tratado de cuantificar desde que R. Reaumur en 1730 inventó el termómetro (Wang 1960; Durand, 1969; Waggoner, 1974; Kiniry y Keener, 1982; Bauer, Frank y Black, 1984). En 1735, Reaumur introduce el concepto de unidad de calor o térmica, dando las primeras nociones de constancia térmica requerida para que una planta alcance su madurez y crea un método predictivo del desarrollo vegetal, en función de la temperatura (Wang, 1960; Durand, 1969; Kiniry y Keener, 1982).

Desde esa fecha, se ha hecho numerosos intentos para mejorar el concepto de constante térmica de Reaumur, basándose en que la velocidad de desarrollo au-

menta linealmente con la temperatura. Se crea así el concepto de días-grados, el cual considera la acumulación térmica efectiva por sobre una temperatura umbral. Un día-grado o una unidad térmica corresponde a un grado de la temperatura media por sobre este umbral. Cada etapa de desarrollo de un vegetal se cumple cuando la integración en el tiempo de los días-grados alcanza un determinado valor L, el cual sería constante para cada fase fenológica (Waggoner, 1974).

$$L = \int_{t_0}^t (\bar{T} - T_h) dt, \text{ donde}$$

\bar{T} = temperatura media
 T_h = temperatura umbral
 t_0 = fecha de inicio de la etapa de desarrollo
 t = fecha de término de la etapa de desarrollo

donde $(\bar{T} - T_h) = 0$ si $\bar{T} < T_h$ (Baier, 1981)

La temperatura umbral o base varía con el vegetal, su estado de desarrollo o su condición fisiológica (Dauenmire, 1974). Esta puede determinarse haciendo

¹ Recepción de originales: 11 de diciembre de 1985.

Trabajo auspiciado por el Departamento de Desarrollo de la Investigación de la U. de Chile (A. 065/845F).

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, U. de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

una regresión entre la temperatura media y la tasa de desarrollo; la temperatura base es aquella en que la tasa de desarrollo es nula (Arnold, 1959).

La búsqueda de una constante fenológica, para definir el desarrollo vegetal, ha llevado a diversos investigadores a crear índices predictivos del estado de desarrollo, basándose principalmente en la temperatura. (Wang, 1960).

En la literatura, se encuentran numerosos índices predictivos que consideran una respuesta no lineal del desarrollo a la temperatura. Pueden citarse, por ejemplo: Gilmore y Rogers (1958) crean el concepto de grados efectivos sobre la madurez del maíz, mejorando el concepto días—grados, al corregir el efecto de las temperaturas bajo la mínima de crecimiento, de 50° F (10° C), y sobre la óptima, de 86° F (30° C); Brown (1969), citado por Tyldesley (1978), crea el Sistema de Unidades Calóricas Ontario (OCHU), para maíz, considerando en forma independiente, a través de dos funciones, la influencia de la temperatura sobre 10° C y bajo 4,4° C; Tollenaar, Daynard y Hunter (1979) proponen una ecuación cúbica, que relaciona la tasa de emergencia de las hojas de maíz con la temperatura media del aire; Warrington y Kanemasu (1983) proponen sistemas polinomiales, para estimar la tasa de iniciación y aparición foliar, también en maíz.

En trigo, existen numerosos trabajos que relacionan el efecto de la temperatura sobre el desarrollo. Nuttinson (1955), basándose en la información fenológica de trigos de Norteamérica, Unión Soviética y Finlandia, incorpora el efecto del fotoperíodo a la acumulación de días—grados. El mismo autor crea las unidades fototermiales, que se comportan más uniformemente que los días—grados, respecto del desarrollo del trigo, en un rango más amplio de latitudes, altitudes y climas, para una misma variedad. Van Dobben (1962) establece que el tamaño final de las plantas, de trigo entre otras, está determinado por la independencia de la influencia de la temperatura sobre la tasa de crecimiento y desarrollo. Asana y Williams (1965) analizan el efecto del estrés térmico sobre el desarrollo del grano. Warrington, Dunstone y Green (1977) determinan que el efecto de la temperatura sobre los rendimientos en grano, es más importante durante la fase de desarrollo de la espiga. Darwinkel, Ten Hag y Kuizenga (1977) agregan que las fechas tardías de siembra decrecen sus rendimientos en grano, debido a una disminución del peso del grano y menor producción de granos por espiga. Ambos componentes del rendimiento, según estos autores, están relacionados con la tasa de desarrollo del vástago. Rahman y Wilson (1978) determinan variaciones en el número de espiguillas del trigo, al cambiar la temperatura durante el desarrollo de la espiga. Bauer y otros (1984) utilizan el índice de días—grados y unidades fototerma-

les, para predecir los estados de desarrollo entre siembra y antesis, en 16 cultivares de *Triticum aestivum* y tres de *T. durum*; concluyen que con ambos índices se consiguen buenas aproximaciones.

En condiciones normales, los trigos cultivados en Chile están sometidos a una secuencia climática estacional, que condiciona su evolución fenológica. El desarrollo vegetativo comienza lentamente en otoño y continúa en invierno, con temperaturas e intensidades luminosas relativamente bajas y días cortos. La diferenciación e iniciación floral se produce a medida que aumentan la temperatura, longitud del día y radiación solar incidente, durante la primavera. Los incrementos de temperatura y los déficit hídricos, frecuentes hacia el verano, ponen fin al período de llenado de granos.

En este trabajo se presenta un análisis preliminar del grado y tipo de determinismo que ejerce la temperatura sobre la dinámica del desarrollo del trigo, cultivar Aurifén.

MATERIALES Y METODOS

Con el objeto de obtener condiciones térmicas variadas, se sembraron escalonadamente a lo largo del año parcelas experimentales de 5 x 4 m. La experiencia se realizó en el Campus Antumapu de la Escuela de Agronomía de la Universidad de Chile, lat. 33° 34' long. 70° 37' W, a 625 m.s.n.m.

Se fertilizó con 120 u. de N/ha, en forma de nitrato de sodio, y 100 u. de P, en forma de superfosfato triple. El N se aplicó 1/3 a la siembra y 2/3 al estado de macolla. La dosis de siembra fue de 120 kg/ha.

Se realizaron ocho siembras, entre el 9 de agosto de 1983 y el 9 de mayo de 1984. En el análisis de los resultados, se consideró dos siembras realizadas en los meses de junio y julio de 1978 dentro del mismo Campus, para completar el ciclo anual de desfase del tiempo de siembra.

Paralelamente, se realizaron siembras de parcelas de igual tamaño en invernadero, con el objeto de conseguir temperaturas superiores a las del ambiente natural.

Durante la evolución del cultivo se realizaron observaciones fenológicas, determinándose para cada siembra las fechas de emergencia, macolla, encañado, espigadura, antesis y maduración. La etapa fenológica se consideró representativa, cuando el 50% de las plantas presentaban ese estado de desarrollo.

Paralelamente, se obtuvieron los registros térmicos de las Estaciones Agrometeorológicas Antumapu y La

Platina. La temperatura media empleada en el análisis de resultados corresponde al promedio de las temperaturas máximas y mínimas.

La fecha de ocurrencia de las fenofases se relacionó con:

- El número de días acumulados a cada fase de desarrollo.
- Los días—grados acumulados en cada fenofase. Un día—grado o unidad térmica efectiva, corresponde a 1° de diferencia sobre la temperatura de 4,5° C. (Nuttonson, 1955).
- La temperatura media y velocidad de desarrollo. Esta última se expresó como el inverso del tiempo, expresado en días entre dos fenofases sucesivas.

RESULTADOS Y DISCUSION

La fenología de trigo muestra una plasticidad importante en relación con la fecha de siembra. La Figura 1 muestra la evolución temporal de las fases del ciclo de desarrollo, para 10 siembras efectuadas a través de todo el año. Los ciclos más largos se consiguen con siembras tempranas de otoño, si los comparamos con la duración del ciclo para siembras normales para este cultivar (15 de mayo — 15 de junio; El Campesino, 1982). Las siembras de pleno verano muestran un ciclo cuya duración es aproximadamente la mitad del

largo observado en siembras normales. Se aprecia claramente un acortamiento sistemático de todas las fases del ciclo durante la época más calurosa, lo que pone en relieve el efecto regulador que ejerce la temperatura sobre la velocidad de desarrollo de esta especie.

Para verificar el grado de constancia que existe entre la acumulación de temperaturas efectivas o días—grados (temperatura media mayor que 4,5° C) y el estado de desarrollo alcanzado, es necesario analizar la evolución conjunta de tiempo, la integral térmica y el estado de desarrollo (Figura 2). En este caso es posible verificar que las fases fenológicas ocurren cuando se cumplen ciertos valores de suma térmica, característicos de cada una de ellas, el que se muestra relativamente independiente de la fecha de siembra. La suma térmica para el ciclo completo se muestra como el valor menos constante de todos, variando entre 1135 días—grados, para las siembras de primavera, y 1686, para la siembra normal. Estas variaciones pueden deberse a la acción de otro factor ambiental, al empleo de una temperatura base no adecuada, o a la imprecisión en la determinación experimental del fin del ciclo.

Definiendo la velocidad de desarrollo como $v = 1/\tau$ donde τ corresponde al tiempo transcurrido entre dos eventos fenológicos, es posible analizar el efecto de la temperatura sobre v . La experiencia permitió establecer una clara relación lineal entre v y la temperatura media, durante la ocurrencia de un suceso fenológico. Estos resultados concuerdan con Heagarty (1973), Kanemasu, Bark y Chin Choy (1975) y García—Huidobro, Monteith y Squire (1982).

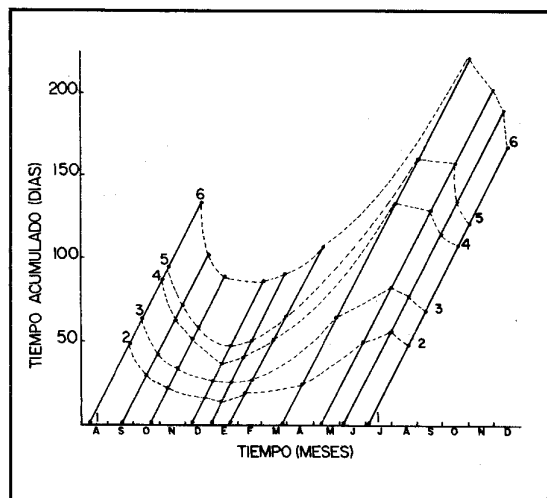


FIGURA 1. Ocurrencia de las fenofases, en relación con el tiempo acumulado. 1 a 6 representan los estados de siembra, macolla, encañado, espigadura, antesis y maduración.

FIGURE 1. Occurrence of wheat phenologic stages, in relation to accumulated time. 1 to 6 correspond to seeding, tillering, stem extension, heading, anthesis, and ripening.

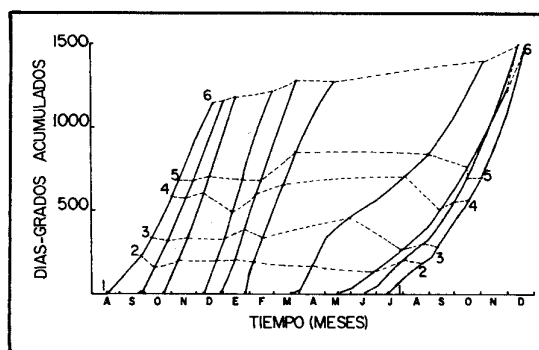


FIGURA 2. Ocurrencia de las fenofases en relación con los días—grados acumulados ($\bar{T} > 4,5^{\circ} \text{C}$). 1 a 6 representan los estados de siembra, macolla, encañado, espigadura, antesis y maduración.

FIGURE 2. Occurrence of wheat phenologic stages, in relation to accumulated degree—days ($\bar{T} > 4,5^{\circ} \text{C}$). 1 to 6 correspond to seeding, tillering, stem extension, heading, anthesis, and ripening.

La Figura 3 muestra la dependencia de v y la temperatura media, durante el ciclo completo de las distintas siembras. El carácter lineal es claro en la región de las temperaturas subóptimas, esto es, considerando que la temperatura óptima del crecimiento se ubica aproximadamente entre 19 y 22° C (Nix, 1981).

La misma figura incluye dos observaciones adicionales en condiciones de invernadero, que evidencian una disminución de la velocidad de desarrollo en el rango de temperaturas supraóptimas, lo que estaría de acuerdo con observaciones efectuadas por otros autores (Kiniry y Keener, 1982; Norero, 1983).

Es interesante destacar que la proyección de la relación de la Figura 3 permite estimar una temperatura umbral de desarrollo de alrededor de 6° C, la que es diferente del valor 4,5° C correspondiente al umbral de crecimiento. La diferencia sin embargo no sería significativa, si se considera que se está suponiendo que el carácter lineal se mantiene hacia los valores inferiores de temperatura.

El mismo análisis de la Figura 3 puede realizarse por separado para las fases vegetativa y reproductiva, tomando como límite entre ambas, a la plena antesis. La Figura 4 muestra la dependencia de v de la temperatura, para ambas fases. La mayor pendiente mostrada por la fase reproductiva, permite pensar que el desarrollo del período posfloral sería más sensible a la temperatura media que el período prefloral. Esto queda de manifiesto a la luz de los resultados, que muestran un acortamiento de 5,4 días, es decir, 80% de la duración máxima (66 días), por cada grado de aumento en la temperatura media durante la fase reproductiva, mientras que estas cifras son de 9,2 días y 6,20% para la fase vegetativa, cuya duración máxima observada fue de 142 días. Weigand y Cuellar (1981) observaron reducciones de 3,1 días por grado de aumento de la temperatura, durante el llenado de granos. La temperatura umbral de crecimiento aumenta al avan-

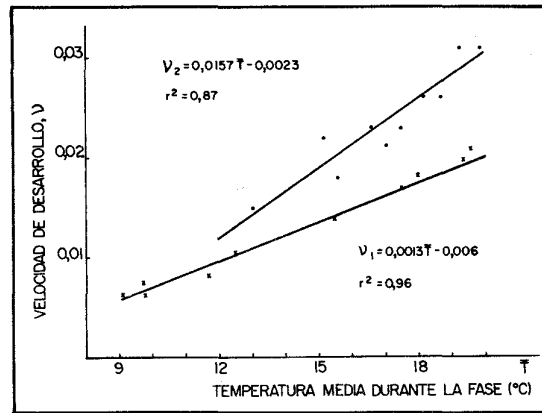


FIGURA 4. Relación entre la temperatura media y la velocidad de desarrollo, en las fases vegetativas (v_1) y reproductivas (v_2).

FIGURE 4. Relation between mean temperature and development velocity, in the vegetative (v_1) and reproductive (v_2) phases.

zar la ontogenia del cultivo de 4,6° C en el período vegetativo a 6,8 en el período reproductivo; resultados similares encontraron Angus y otros (1981) y del Pozo y otros (1984).

Con el objeto de interpretar el efecto que estas respuestas del desarrollo pudieran tener sobre el crecimiento y la productividad del cultivo, es interesante analizar la influencia de la duración del período vegetativo sobre el índice de área foliar (IAF) máximo alcanzado.

La Figura 5 muestra esta relación, para las distintas siembras. En la medida que se prolonga el período vegetativo, el IAF máximo es más alto, alcanzando los valores más elevados cuando la duración de este período es de 130–140 días, lo que se obtiene en la

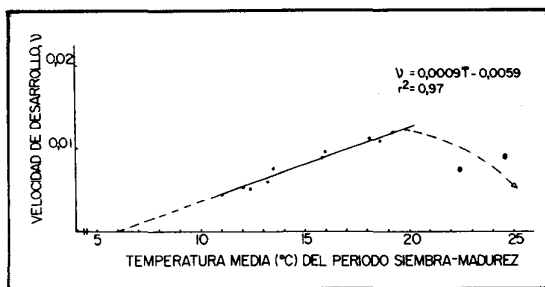


FIGURA 3. Relación entre temperatura media y velocidad de desarrollo para el ciclo completo (siembra a madurez). (a) Datos de parcelas ubicadas en invernadero.

FIGURE 3. Relation between mean temperature and development velocity, from seeding to ripening. (a) Data from two plots located in a greenhouse.

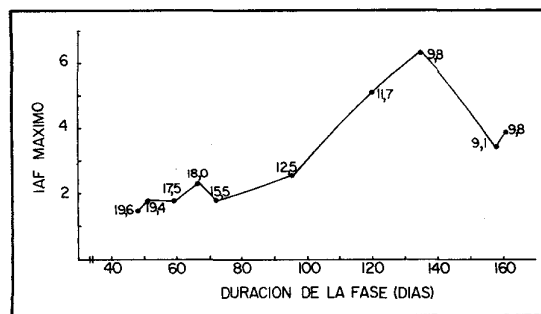


FIGURA 5. Relación entre IAF máximo y duración del período siembra-antesis. El valor en cada punto = temperatura media (° C) del período.

FIGURE 5. Relation between maximum LAI and length of the period seeding-anthesis. Figures at each point = mean temperature (° C) for the period.

siembra de fecha normal. En las siembras tempranas de otoño, en las cuales este período se prolonga por sobre los 150 días, el IAF máximo decrece, lo que probablemente está relacionado con el hecho que la parte más activa en su generación (macolla a espigadura), coincide con la época más fría del año (junio a agosto), lo que además de retardar el desarrollo, reduce la tasa de crecimiento de la área foliar.

El otro factor del desarrollo ligado al rendimiento, es la duración de la área foliar postantesis. Este factor es fuertemente dependiente del IAF máximo y de la duración del período de llenado de granos (Evans, Warlaw y Fischer, 1980; Weigand y Cuellar, 1981; Edwards, 1982), los cuales se muestran relacionados entre sí, bajo condiciones normales de cultivo. La Figura 6 muestra esta última relación, la cual permite pensar que la dinámica de desarrollo, que controla doblemente el IAF MAX y la duración del período posfloral, necesariamente ejerce un efecto importante sobre los rendimientos del trigo.

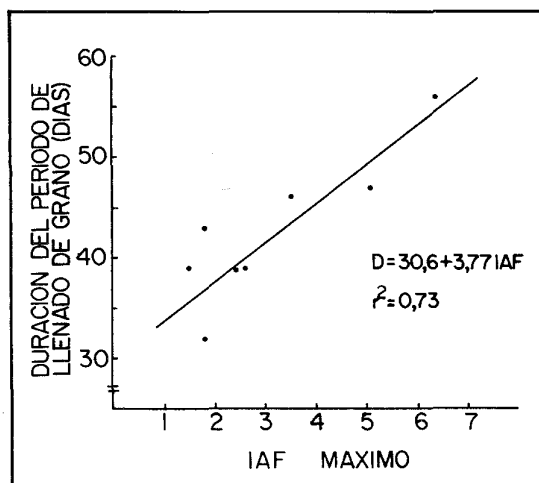


FIGURA 6. Relación entre duración del llenado de grano, D (antesis—madurez) e IAF máximo.

FIGURE 6. Relation between the duration of the kernel filling period D (anthesis—ripening) and maximum LAI.

RESUMEN

Mediante siembras desfasadas en el tiempo, se determinó el efecto regulador que ejerce la temperatura sobre la fenología del trigo (cultivar Aurifén).

Los resultados muestran una aceleración sistemática del desarrollo, a medida que la fecha de siembra se aproxima hacia el verano. La duración del ciclo se reduce a la mitad en el período más cálido del año, con respecto a una siembra normal, con lo que se pone en relieve el fuerte efecto regulador que ejerce la temperatura sobre la velocidad del desarrollo de esta especie. Análogamente, el IAF máximo alcanzado por el cultivo se redujo en las siembras de verano.

La acumulación de días—grados en cada fase de desarrollo, se mostró relativamente constante e independiente de la fecha de siembra.

La velocidad de desarrollo (1/tiempo entre dos sucesos fenológicos) mostró una dependencia lineal respecto a la temperatura. La experiencia aportó los elementos fundamentales para interpretar el efecto de las relaciones régimen térmico—desarrollo, sobre la productividad del trigo.

LITERATURA CITADA

ANGUS, J.F.; MACKENZIE, D.H.; MORTON, R.; and SCHAFER, C.A. 1981. Phasic development in field crops. II. Thermal and photoperiodic responses of spring wheat. Field Crops Research 4: 269—283.

ARNOLD, C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 74: 430—445.

ASANA, R.D. and WILLIAMS, R.F. 1965. The effect of temperature stress on grain development in wheat. Aust. J. Agric. Res. 16: 1—13.

BAIER, W. 1981. Crop — weather analysis models. En: Application of Remote Sensing to Agricultural Production Forecasting. (Ed.) A. Berg and A.A. Balkema. Rotterdam. p: 105—117.

- BAUER, A.; FRANK, A.B. and BLACK, A.L. 1984. Estimation of spring leaf growth rates and anthesis from air temperature. *Agron. J.* 76: 829–835.
- DARWINKEL, A.; TEN HAG, B.A.; and KUIZENGA, J. 1977. Effect of sowing date and seed rate on crop development and grain production of winter wheat. *Neth. J. Agric. Sci.* 25: 83–94.
- DAUBENMIRE, R.F. 1974. *Plant and Environment. A textbook of autoecology.* John Wiley and Sons, New York. 424 p.
- DEL POZO L., A.; NOVOA S—A., R.; GARCIA—HUIDOBRO P. de A., J. y VILLASECA C., S. 1984. Temperatura y ontogenia en trigos de primavera. Resúmenes XXXV Jornadas Agronómicas. Soc. Agron. de Chile. Est. Exp. La Platina. Trabajo 042.
- DURAND, R. 1969. Signification et portée des sommes de températures. *Bulletin Technique d'Information. Ministère de l'Agriculture. France.* 238: 185–190.
- EDWARDS, CH. 1982. *Physiological Determinants of Crop Growth.* Academic Press. Australia.
- EL CAMPESINO. 1982. Guía de variedades de trigo. Lord Cochrane, Santiago, Chile. *El Campesino CXIII Nº 5:* 18–23.
- EVANS, L.T.; WARDLAW, I.F.; and FISCHER, R.A. 1980. Wheat. En: *Crop Physiology.* (Ed.) L.T. Evans. University Press, Cambridge.
- GARCIA—HUIDOBRO, J.; MONTEITH, J.L.; and SQUIRE, G.R. 1982. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). *J. Experimental Botany* 33 (133): 288–296.
- GILMORE Jr., E.C. and ROGERS, J.S. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50: 611–615.
- HEGARTY, T.W. 1973. Temperature coefficient (Q_{10}), seed germination and other biological processes. *Nature* 243: 305–306.
- KANEMASU, E.T.; BARK, D.L.; and CHIN CHOY, E. 1975. Effect of soil temperature and sorghum emergence. *Plant and Soil.* 43: 411–417.
- KINIRY, J.R. and KEENER, M.E. 1982. An enzyme kinetic equation to estimate maize development rate. *Agron. J.* 74: 115–119.
- NIX, H.A. 1981. Simplified simulation models based on specified minimum data sets: the CROPEVAL concept. En: *Application of Remote Sensing to Agricultural Production Forecasting.* (Ed.) A. Berg and A.A. Balkema. Rotterdam. p: 151–169.
- NORERO, A. 1983. Crecimiento y desarrollo de cultivos anuales. Bases agrofísicas para modelos de simulación. Serie: Suelos y Clima. CIDIAT. Venezuela.
- NUTTONSON, M.Y. 1955. Wheat – climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of wheat. *Am. Institute of Crop Ecology.* Washington D.C.
- RAHMAN, M.S. and WILSON, J.H. 1978. Determination of spikelet number in wheat. III. Effect of varying temperature on ear development. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 459–467.
- TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B.; and HUNTER, R.B. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Cr. Sci.* 19: 363–366.
- TYLDESLEY, J.B. 1978. A method of evaluating the effect of temperature on an organism when the response is non-linear. *Agric. Meteorology* 19: 137–153.
- VAN DOBBEN, W.H. 1962. Influence of temperature and light conditions on dry-matter distribution, development rate and yield in arable crops. *Neth. J. Agric. Sci.* 10 (15): Special issue: 377–389.
- WAGGONER, P.E. 1974. Modeling seasonality. En: *Phenology and Seasonality Modeling.* (Ed.) H. Lieth. Springer Verlag, New York. Heidelberg, Berlin. p: 301–327.
- WANG, J.Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41: 785–790.
- WARRINGTON, J.J.; DUNSTONE, R.L.; and GREEN, L.M. 1977. Temperature effects at three development stages on the yield of the wheat ear. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 11–27.
- WARRINGTON, J.J. and KANEMASU, E.T. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod. II. Leaf-initiation and leaf-appearance rates. *Agron. J.* 75: 755–761.
- WIEGAND, C.L. and CUELLAR, J.A. 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Cr. Sci.* 21: 95–101.