Pronóstico de fases en cultivos de maíz dentado mediante sumas de temperaturas¹

C. ASPIAZÚ²

(Recibido: 16 de noviembre, 1971)

RESUMEN

Se evaluó la exactitud de seis métodos de cálculo de sumas de temperatura, aplicados al pronóstico de fases en maíz dentado. Dichos métodos fueron: sumas residuales sobre 10°C, el usado actualmente por el servicio meteorológico de los EE. UU., este último con 4,4°C como temperatura mínima en lugar de 10°C, sumas residuales sobre 10°C según modificaciones introducidas en la Universidad de Purdue (EE. UU.), el desarrollado por Brown en Ontario (Canadá) y una modificación de éste con umbral térmico nocturno de 10°C en lugar de 4,4°C. Experiencias realizadas durante 1966, 1967 y 1968 en 12 localidades de la región maicera norteamericana, proveyeron los datos fenológicos necesarios para los cálculos. Se computaron las unidades diarias de temperatura acumuladas desde siembra a aparición de los estigmas, emergencia de las plántulas a aparición de estigmas, siembra a madurez, emergencia a madurez y aparición de estigmas a madurez. Las sumas calculadas para cada híbrido fueron agrupadas sin tener en cuenta fecha de siembra, campaña agrícola o ubicación geográfica del cultivo. Se consideró que el mejor método para pronosticar fases debía ser aquel que presentara menor variabilidad en dichas sumas. Esta variabilidad fue expresada en días dividiendo la desviación típica por el valor medio de las unidades diarias de temperatura.

El método de Brown y su modificación mostraron, ambos, la menor variabilidad en todos los períodos. El índice residual sobre 10°C mostró casi siempre la mayor variabilidad. Considerar fecha de emergencia de las plántulas en lugar de fecha de siembra, no parece mejorar la exactitud de los cálculos.

SUMMARY

Six methods of heat unit calculation for dent corn were evaluated. Those methods were remainder index above 10°C, U. S. Weather Bureau method, U. S. Weather Bureau method modified with 4,4°C as minimum temperature instead of 10°C, remainder index above 10°C as modified at Purdue University, Brown's method, and a modification of the latter made by considering 10°C as the night threshold instead of 4,4°C. Experimental data from twelve locations in the Corn Belt covering periods from one to three years were used for testing. Years considered were 1966, 1967, and 1968. Daily heat units were calculated. These were later summed for periods from planting to silking, emergence to silking, planting to maturity, emergence to maturity, and silking to maturity. The heat unit sums for each individual hybrid were grouped together regardless of planting dates, years and locations, and tested for uniformity of values. The method giving the least variability of these values was considered to be the best for prediction of phenological events. This variability was measured for each hybrid by dividing the standard deviation of the heat sums by the average value of the daily heat units accumulated.

Both Brown's method and its modification gave the least variability for all periods. Straight remainder index above 10°C showed the highest variability the most frequently. Using emergence date instead of planting date did not appear to improve the consistence of the heat unit sums.

¹ Resumen adaptado y actualizado del trabajo de tesis del autor, presentado para optar al grado de « Master of Science » en Climatología Agrícola, realizado en el Department of Agronomy, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, USA.

² Profesor adjunto, Departamento de Biología y Ecología, orientación Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad de Buenos Aires.

INTRODUCCION

La predicción de fases fenológicas en los vegetales, es tema que suscita gran interés en el medio agrícola. Los productores de híbridos desean conocer por anticipado la época de floración de los cultivares para programar sus cruzamientos. Los investigadores desean determinar la probable duración de los ciclos vitales con el propósito de clasificar los cultivares y poder sembrarlos en el lugar geográfico adecuado. Así, en los EE. UU. se emplearon, sin resultados satisfactorios, clasificaciones basadas en la duración en días de los ciclos totales de los distintos cultivares. Estos fracasos deben atribuirse a la pobre correlación existente entre el número de días y el crecimiento y desarrollo de las plantas, pues la duración real de los períodos fenológicos de una especie varía con los cambios ambientales.

Cualquier clasificación, para ser más exacta, deberá basarse en mediciones de aquellos componentes del ambiente que sean responsables de la variación en el número de días para alcanzar una fase dada, pues en las plantas, la marcha de muchos procesos fisiológicos depende, en gran medida, de cómo son satisfechos sus requerimientos por el complejo particular de condiciones externas. En este aspecto, la temperatura ambiental es una de las necesidades bioclimáticas más importantes, habiéndose mencionado que la mayor parte de la variación en días hasta panojamiento, polinización y madurez del maíz, puede ser explicada por diferencias de temperaturas entre localidades y años (BROWN, 1963).

Los primeros trabajos tendientes a interpretar los procesos vitales de los vegetales datan de la primera mitad del siglo XVIII y fueron concebidos, por investigadores europeos, sobre la idea de que una planta alcanza un estado de crecimiento o desarrollo dados cuando ha recibido una cierta cantidad de calor, sin considerar la duración del período. Este razonamiento dio origen a la teoría de las "unidades calóricas", basada en la sumatoria de las temperaturas diarias del aire entre fases del ciclo vegetal o durante la estación total de crecimiento, con el propósito de obtener un valor considerado constante para un cultivar, cualquiera fuera el lugar o época de siembra. Esta aproximación al problema considera que las temperaturas del aire representan la energía disponible que las

plantas habrán de utilizar para su ciclo evolutivo (WANG, 1960). La denominación "unidades calóricas" ("heat units"), comúnmente encontrada en la literatura norteamericana, resulta poco apropiada, pues no es el calor, sino la temperatura la que constituye la base del sistema. Unidades de temperatura sería pues, una designación más conveniente.

NUTTONSON (1953), HOLMES y ROBERTSON (1959), WANG (1960, 1963) consideraron la bibliografía existente sobre el tema y analizaron en detalle las suposiciones en que se basa cada enfoque. Inicialmente se pensó que la acumulación de calor en los vegetales comenzaba cuando la temperatura del aire superaba los 0°C ; más tarde se estimó que el umbral térmico debía ser algo mayor que 0°C y variable, además, con las especies, idea que dio origen al llamado método o índice residual. Las "temperaturas efectivas" acumuladas diariamente se obtenían sustrayendo el valor del umbral térmico a la temperatura media del aire. HOLMES y ROBERTSON (1959) señalaron que, tal como la base teórica del método supone, el crecimiento de muchos cultivos agrícolas puede ser estimado por medio de una relación lineal que abarque el rango de temperaturas existentes en las regiones templadas. Además, si los cálculos son realizados a partir de mediciones obtenidas en abrigos meteorológicos convencionales, las diferencias entre esas temperaturas y las de los tejidos vegetales y del ambiente inmediato que circunda a la planta están correlacionadas entre sí y no causan grandes errores.

WANG (1963), opinó que el uso de la capacidad calórica de la planta podría brindar resultados más exactos que la temperatura del aire, de no mediar inconvenientes derivados de las técnicas de medición y de la heterogeneidad del material vegetal que dificultan la adecuada determinación de su densidad y su calor específico. También afirmó que si se usaran las temperaturas de los vegetales, su exacta determinación sería problemática. Sin embargo, por razones prácticas, se ha generalizado el uso de temperaturas del aire pues con la precipitación, constituyen los únicos elementos meteorológicos observados diariamente con adecuada densidad geográfica y por un tiempo suficientemente largo (BROWN, 1963).

SHAW y THOM (1951), trabajando en la fenología del maíz, determinaron que con el aumento de la temperatura del aire, si el suelo dispone de humedad suficiente, se acorta la duración del intervalo que va de siembra a aparición de las plántulas. En sus investigaciones comprobaron que por cada grado Fahrenheit (0,55° C) de aumento experimentado por la temperatura media en los 60 días posteriores a la siembra, la duración del período hasta panojamiento se acortó en 3 días. Esto parece concordar con lo establecido por otros investigadores acerca de que un tiempo cálido y seco puede acelerar el panojamiento. Las condiciones del tiempo causaron más variación en la aparición de estigmas que en el panojamiento.

La humedad y el grado de fertilidad del suelo pueden afectar la acumulación de unidades diarias de temperatura en distintos cultivos de una misma especie. Condiciones favorables de humedad apresurarían la maduración del maíz, al igual que adecuado contenido de fósforo, mientras que un exceso de nitratos actuaría de modo inverso (KIESSELBACH, 1950). El fósforo acortaría la duración total del ciclo evolutivo y el potasio apresuraría la aparición de los estigmas (PEASLEE et al., 1971).

Las sumas de temperatura fueron usadas por muchos investigadores con modificaciones para adaptarlas a diferentes especies cultivadas o para mejorarlas. Por ejemplo, GILMORE y ROGERS (1958) hicieron notar que aun cuando las unidades de temperatura fueran iguales a cero en un determinado día, las plantas estarían activas durante algún lapso si la temperatura máxima supera el umbral térmico. Para corregir esta situación, propusieron que a todas las temperaturas mínimas inferiores a la temperatura base se las considere iguales a este último valor. Además, como las temperaturas que exceden un registro óptimo retardan el crecimiento o el desarrollo, se deben descartar todos los grados de la temperatura máxima que estén por encima del valor óptimo. Este método, considerando 10° C como mínimo y 30° C como temperatura óptima, se usa actualmente en el servicio meteorológico de los EE. UU. para calcular las unidades diarias de temperatura (UDT) mediante la fórmula siguiente:

$$UDT = \frac{\left(10 + \frac{\text{grados C } T_{\min.}}{\text{por encima } 10^\circ}\right) + \left(T_{\max.} - \frac{\text{grados C } T_{\max.}}{\text{por encima } 30^\circ}\right)}{2} - 10$$

donde $T_{\min}$ y $T_{\max}$ son temperaturas mínimas y máximas, respectivamente.

Otros métodos de cálculo ponderaron los registros de temperatura del aire de acuerdo con su efecto en la producción de cambios biológicos (PRICE, 1911; LIVINGSTON y LIVINGSTON, 1913; LIVINGSTON, 1916; BROWN, 1963). Finalmente, NUTTONSON (1948), entre otros, incorporó el efecto del fotoperíodo. El maíz es típicamente una especie de "días cortos" que acelera su floración cuando está sometida a una exposición diaria menor de 12-14 horas de luz y la atrasa con fotoperíodos mayores. No obstante, de acuerdo con KIESSELBACH (1950) la influencia de la duración del día parece terminar con la iniciación del panojamiento.

MATERIALES Y METODOS

La información básica usada provino de datos obtenidos en ensayos realizados por estaciones experimentales agrícolas y por compañías productoras de híbridos y cubre períodos que van desde uno a tres años (1966, 1967 y 1968). Los ensayos fueron sembrados con híbridos comerciales de maíz dentado. En total se analizó el comportamiento de 43 híbridos.

Las sumas de temperaturas fueron calculadas usando los datos suministrados por las estaciones meteorológicas oficiales próximas a los cultivos y, en algunos casos, por medio de los registros efectuados en el mismo lugar de siembra. En ocasiones fue necesario completar estos últimos con informaciones provistas por estaciones meteorológicas próximas.

Para el cálculo de las unidades diarias de temperatura y su sumatoria se usó un programa de computación en grados Fahrenheit preparado por FELCH (1970). Los períodos fenológicos considerados fueron: siembra a aparición de estigmas, emergencia a aparición de estigmas, siembra a madurez, emergencia a madurez y aparición de estigmas a madurez. La fecha en la cual los granos alcanzaron el 30 % de humedad, fue tomada como punto final de la acumulación de temperaturas en aquellos períodos extendidos hasta madurez.

Tres de los sitios en que se llevaron a cabo los ensayos (Ankeny, Kanawha y Sutherland) estaban ubicados en campos de la Iowa Agricultural Expe-

riment Station. Los restantes fueron realizados en campos pertenecientes a criaderos comerciales de maíz ubicados en las localidades de Washington, Hampton y Johnston, estado de Iowa; Willmar y North Mankato, estado de Minnesota; Carrollton, estado de Missouri; York, estado de Nebraska; y Yellow Springs, estado de Ohio, todos lugares de la región maicera norteamericana ("Corn Belt").

Los métodos de cálculo utilizados fueron:

1) Suma de temperaturas por encima de 10°C (ST10) o método residual;

2) El usado actualmente por el servicio meteorológico de los EE. UU. (WB 10/30), según se mencionó en el capítulo Introducción.

3) Una modificación del precedente, en la cual la temperatura mínima es $4,4^{\circ}\text{C}$ en vez de 10°C , manteniéndose en 10°C la temperatura base (WB 4,4/30).

A modo de ejemplo se presentan a continuación las unidades de temperatura para un día con una temperatura mínima de $1,7^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $18,3^{\circ}\text{C}$, calculadas mediante estos tres primeros métodos.

$$\text{ST10} = \frac{1,7 + 18,3}{2} - 10 = 0$$

$$\text{WB 10/30} = \frac{(10 + 0) + (18,3 - 0)}{2} - 10 = 4,2$$

$$\text{WB 4,4/30} = \frac{(4,4 + 0) + (18,3 - 0)}{2} - 10 = 1,4$$

4) Otra modificación del método o índice residual (ST10), desarrollada en la Universidad de Purdue (Purdue). En este método:

a) cuando las unidades diarias de temperatura exceden de 16,7 y la temperatura máxima diaria es mayor de $32,2^{\circ}\text{C}$, se resta el número de grados centígrados en que esta última supera los $32,2^{\circ}\text{C}$ de las unidades obtenidas con el método residual, esto es,

$$\text{Purdue} = \text{ST10} - (T_{\text{máx}} - 32,2)$$

por ejemplo, si $32,8^{\circ}\text{C}$ es la temperatura máxima y $22,8^{\circ}\text{C}$ es la mínima para un determinado día

$$\text{ST10} = \frac{32,8 + 22,8}{2} - 10 = 17,8$$

y aplicando la modificación descripta

$$\text{Purdue} = 17,8 - (32,8 - 32,2) = 17,2$$

b) Cuando las unidades diarias de temperatura son de 2,8 o menos y la temperatura máxima diaria es superior a $18,3^{\circ}\text{C}$, a los valores calculados según ST10 se le suman los grados centígrados en que la temperatura máxima supera los $18,3^{\circ}\text{C}$. Por ejemplo, si la temperatura máxima es $19,4^{\circ}\text{C}$ y la mínima $2,2^{\circ}\text{C}$

$$\text{ST10} = \frac{19,4 + 2,2}{2} - 10 = 0,8$$

y aplicando la correspondiente modificación

$$\text{Purdue} = 0,8 + (19,4 - 18,3) = 1,9$$

Las correcciones a) y b) aplicadas al método residual tienden a disminuir la importancia de las altas temperaturas y a considerar los días fríos del verano, respectivamente.

5) El método desarrollado por BROWN (1969). En éste la temperatura máxima diaria, $T_{\text{máx}}$ expresada en grados Fahrenheit, contribuye al cálculo de las unidades de temperatura con un valor $Y_{\text{máx}}$ determinado a partir de la ecuación:

$$Y_{\text{máx}} = 1,85 (T_{\text{máx}} - 50) - 0,026 (T_{\text{máx}} - 50)^2$$

donde 1,85 y 0,026 son constantes y 50 es la temperatura base expresada en grados Fahrenheit. Esta ecuación representa una curva parabólica de crecimiento obtenida por BROWN en trabajos previos (BROWN, 1960, 1963). Las temperaturas máximas iguales o menores a 10°C (50°F) no computan para el crecimiento o desarrollo del maíz, en tanto que la contribución es máxima por parte de temperaturas cercanas a 30°C (86°F). El efecto debido a las temperaturas nocturnas, $T_{\text{mín}}$, en grados Fahrenheit, se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Y_{\text{mín}} = T_{\text{mín}} - 40$$

donde 40 es el umbral térmico nocturno, en grados Fahrenheit. No se introduce ningún valor térmico óptimo para la actividad nocturna pues se la considera siempre lineal.

Para determinar las unidades diarias de temperatura se promedian los dos valores obtenidos:

$$\text{Brown} = \frac{Y_{\text{máx}} + Y_{\text{mín}}}{2}$$

6) Una modificación del método precedente en la cual el umbral térmico es de 50° F en lugar de 40° F.

Con cada uno de los métodos anteriores se computaron las unidades diarias de temperatura para cada híbrido, abarcando la totalidad del período fenológico correspondiente. Las sumas obtenidas para un híbrido dado en un período particular, fueron analizadas estadísticamente agrupándolas todas sin tener en cuenta fecha de siembra, campaña agrícola o ubicación geográfica del cultivo del cual provenían, con el propósito de obtener un valor tan constante como fuera posible. Tal como ARNOLD (1959) propuso, la variabilidad entre las sumas de temperaturas para un híbrido dado fue evaluada mediante la desviación típica expresada en días (S_d).

Se planeó una comparación propuesta por SNEDECOR y COCHRAN (1967) para la evaluación de la igualdad de las variancias de los métodos de comportamiento extremo. El criterio en que se basa dicha prueba es

$$F = \frac{S_{d_1}^2}{S_{d_2}^2}$$

donde $S_{d_1}^2$ es el cuadrado medio de valor más elevado —máxima variancia— en comparación con $S_{d_2}^2$ —mínima variancia—, ambos correspondientes al mismo híbrido, sin importar el método que los produjo. La hipótesis nula considerada fue que $S_{d_1}^2$ y $S_{d_2}^2$ fueron muestras independientes al azar procedentes de poblaciones normales con la misma variancia σ^2 . Para comprobar la hipótesis nula se utilizó una tabla de SNEDECOR y COCHRAN para niveles del 5 % de F.

RESULTADOS

Se considera que el método que presenta la menor variación entre sumas de temperaturas es la mejor expresión de los efectos de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Para evaluar esa variación ARNOLD (1959) propuso un procedimiento para determinar la desviación típica en días (S_d) a partir de la desviación típica correspondiente a las sumas de temperatura (S_{ST}), usando la siguiente ecuación:

$$S_d = \frac{S_{ST}}{\bar{X}_t - t_b} \tag{1}$$

en la cual $\bar{X}_t$ es la temperatura media para la serie completa de siembras sobre la cual está basada la S_{ST} y t_b es la temperatura base. Esta forma de cálculo sólo es útil aplicada a sumatorias de temperaturas en su expresión más simple, esto es, sin considerar correcciones por bajas o altas temperaturas (índice residual sin modificaciones). Puesto que en el presente trabajo se utilizan también otros métodos, la fórmula anterior tuvo que ser modificada ligeramente. El denominador en (1) es equivalente al total de las sumas de temperaturas correspondientes a un período fenológico dado dividido por el número de días del período, es decir:

$$(\bar{X}_t - t_b) = \frac{\text{suma total de temperaturas}}{\text{número de días}} = \overline{UDT} \tag{2}$$

donde $\overline{UDT}$ es el promedio diario, para todas las siembras, de las unidades diarias de temperatura correspondientes a un período dado. Reemplazando en (1) se tiene:

$$S_d = \frac{S_{ST}}{STD} \tag{3}$$

En su nueva forma puede aplicarse la ecuación a cualquier método de cálculo de sumas de temperatura. Debe señalarse que también puede determinarse S_d utilizando la relación dada por ARNOLD:

$$\frac{S_d}{CV} = \frac{\bar{X}_d}{100}, \text{ de donde, } S_d = \frac{CV \cdot \bar{X}_d}{100} \tag{4}$$

CUADRO 1.— Promedios de los valores de S_d hallados para los 43 híbridos con cada método de cálculo en los diferentes períodos.

Períodos	Valores medios de S_d					
	ST10	WB 10/30	WB 4,4/30	Purdue	Brown	Brown 50
Siembra a aparición estigmas..	6,3	5,3	5,6	5,9	4,5	4,7
Emergencia a aparición estigmas.	5,4	5,0	4,9	5,1	4,7	4,7
Siembra a madurez	9,1	6,8	7,5	8,0	4,5	4,9
Emergencia a madurez.....	8,5	6,7	7,1	7,5	4,8	5,2
Aparición estigmas a madurez.	7,2	4,9	6,1	6,3	4,4	4,1

CUADRO 2. — Porcentaje de veces en que cada uno de los métodos produjo los valores más bajos de S_d

Periodos	ST10	WB 10/30	WB 4,4/30	Purdue	Brown	Brown 50
Siembra a aparición estigmas..	2	7	7	2	72	19
Emergencia a aparición estigmas	9	5	16	28	51	16
Siembra a madurez	0	2	2	5	88	9
Emergencia a madurez.....	0	2	0	2	88	9
Aparición estigmas a madurez.	0	19	2	2	19	77

donde CV es el coeficiente de variación de las sumas de temperatura y $\bar{X}_d$ es el número medio de días del período.

En la fórmula (4) puede verse que cada valor de S_d es directamente proporcional al del CV para el mismo híbrido, siendo $\bar{X}_d$ un valor constante para la serie completa de siembras del híbrido.

Se comprobó que los valores de S_d correspondientes a las sumas calculadas por medio del método de BROWN fueron casi siempre los menores, es decir, presentaron menor variabilidad (cuadros 1 y 2). Usando el método de Brown para la predicción de fases fenológicas podrían esperarse, como promedio, menos de ± 5 días de desviación. Como contraparte, ST10 casi siempre mostró los valores más altos de S_d en comparación con los obtenidos al usar todos los otros métodos, lo que también se muestra en el cuadro 1.

DISCUSION

La variación que presentan las sumas de temperatura depende de la fecha de siembra, del año y del ambiente. Agrupar todas las sumas térmicas halladas para un mismo híbrido durante un período fenológico dado, es una práctica común en este tipo de trabajos, considerando además el mismo umbral de temperatura en todos los años y todas las ubicaciones. Esto es adecuado para la confección de clasificaciones climáticas pero para otros propósitos deberá tenerse en cuenta que las predicciones podrían ser más exactas procesando la información recogida en un sitio, independiente-

mente de la reunida en otro y usando diferentes temperaturas base para cada localidad y, mejor aún, para cada período fenológico. El umbral térmico para una misma función del mismo híbrido probablemente varíe con la latitud, pues como lo señaló DAUBENMIRE (1959) las temperaturas cardinales, y por lo tanto, también los umbrales térmicos, varían con la edad de la planta, con sus condiciones fisiológicas, con la duración de niveles particulares de temperatura y con variaciones en otros factores ambientales. La práctica de considerar un único nivel térmico inferior equivaldría a utilizar un valor medio de todos los umbrales actuantes en el ciclo del vegetal, sin considerar la variación geográfica que experimenta dicho umbral.

El índice residual concede igual importancia a las temperaturas diurnas y nocturnas. Si bien KIESSELBACH (1950) encontró iguales ritmos de crecimiento durante el día y la noche en cultivos de maíz a campo en el período entre los 12 y los 42 días previos a la altura máxima de la planta, WENT (1957) considera que los requerimientos térmicos nocturnos son menores que los diurnos para la mayoría de las plantas. El único método que concede tratamiento diferencial a las temperaturas nocturnas en relación con las diurnas es el de BROWN. La expresión parabólica de la fórmula de BROWN fue obtenida (BROWN, 1960) considerando la influencia de la duración de la noche en el desarrollo de la planta de soja. Por lo tanto, si bien no incluye ningún factor de duración de día, el mismo está implícito. Por ser el maíz también cultivo de verano y planta de días cortos, parece aceptable que BROWN haya utilizado su fórmula para calcular sumas de temperaturas en esta especie.

Las condiciones meteorológicas prevalentes durante las diferentes estaciones de cultivo pueden ayudar a explicar parte de la variabilidad experimentada por las sumas de temperaturas. Trabajos anteriores demostraron que en años considerados relativamente cálidos las sumas acumuladas son más altas que en años fríos (ARNOLD, 1959); 1966 fue año cálido, 1967 fue frío y 1968 fue frío y seco. Las disponibilidades de humedad en el suelo, a menudo complican la situación, dependiendo ello de la época de ocurrencia de carencias de agua, pero tal información no estuvo disponible para este estudio. Lo mismo aconteció con los datos relativos al agregado de minerales al suelo, práctica rutina-

ría en la región maicera norteamericana, y que podría haber tenido alguna influencia en la duración del ciclo evolutivo.

Los resultados consignados aquí no mostraron una superioridad concluyente por parte de alguno de los métodos usados. No obstante, de la información reunida surge alguna evidencia en favor del método de BROWN. Al considerar 50° F (10° C) como umbral para la temperatura mínima diaria, siempre se obtuvieron valores de S_d muy similares a los proporcionados por el método original, con lo cual su utilización no representó ventaja alguna excepto para el período que va desde la aparición de los estigmas a la madurez. El método original de BROWN y su modificación, siempre mostraron mayor sensibilidad que los otros métodos ante los cambios de temperatura durante el período de temperaturas decrecientes en otoño hacia el fin de la estación de cultivo. El cuadro 3 es un ejemplo ilustrativo tomado al azar.

CUADRO 3. — Sumas de unidades de temperatura semanales obtenidas con los distintos métodos durante octubre y noviembre de 1967 en Sutherland, Iowa.

Semana	ST10	WB 10/30	WB 4,4/30	Purdue	Brown	Brown 50
1 al 8/10.....	106	113	105	107	146	119
9 al 15/10.....	29	44	30	31	71	60
16 al 22/10.....	14	56	23	18	80	78
23 al 29/10.....	20	25	20	20	34	29
30 al 5/11.....	0	6	0	0	11	11
6 al 12/11.....	5	27	6	7	45	42
13 al 19/11.....	0	8	0	0	13	12
20 al 26/11.....	0	0	0	0	0	0

Valores estadísticamente significativos encontrados en algunos períodos, excediendo el 5 % de probabilidad de obtención de valores más altos debida al azar, no invalidan la suposición de que el mejor método de cálculo debe ser aquel que muestre la menor variabilidad.

Falta de uniformidad en la información fenológica usada puede haber afectado los resultados obtenidos, pues las diversas fuentes no siempre efectuaron las observaciones con criterios similares, lo que obligó a estimar eventos a partir de la información disponible.

La fecha en que los granos de maíz presentaban

un contenido de humedad del 30 %, tomada como punto final para los períodos extendidos hasta madurez del cultivo, pretende aproximarse a la madurez fisiológica de los granos. En ese momento se estima que ha tenido lugar la máxima deposición de materia seca en ellos y por tanto estarían concluidos casi todos los procesos fisiológicos de importancia, estando a salvo el cultivo de sufrir daños causados por heladas. Tal porcentaje, comúnmente no se corresponde con el contenido de humedad en los granos en el momento de la cosecha, oportunidad en la cual casi siempre es inferior. La fecha en que el cultivo está pronto para ser cosechado no puede ser tenida en cuenta, pues tiempo frío puede retardar el secado a campo de los granos en las plantas afectando entonces la exactitud de las sumas de temperatura; en otras oportunidades podrán ser condiciones de humedad ambiental superior a la normal las que retrasen la fecha de cosecha, con similares resultados. De todos modos, las sumas no pueden acumularse mucho más allá de un cierto momento en que las temperaturas medias del aire comienzan a estar por debajo del umbral térmico inferior.

Recientes estudios llevados a cabo por DAYNARD y DUNCAN (1969) sugirieron un nuevo método para determinar la madurez fisiológica de los granos de maíz mediante la observación visual de la aparición de una "capa negra" (black layer) en el grano de maíz, la que actuaría como una barrera impidiendo una posterior deposición de sustancias. Un trabajo de RENCH y SHAW (1971) parece confirmar la bondad de esta observación como indicadora del punto final del cultivo. Es de señalar que en nuestro país se considera que el cultivo llegó a su fin al alcanzar el grano la denominada maduración córnea.

La exactitud de cualquier método para calcular sumas de temperaturas depende de condiciones casi ideales de crecimiento y desarrollo. La meta del procedimiento es expresar, lo más estrechamente posible, el ritmo de crecimiento de las plantas y cualquier factor limitante que afecte la evolución normal de su ciclo vital, influirá sobre la exactitud de los cálculos.

Durante las etapas iniciales del crecimiento, inmediatamente después de la siembra, las temperaturas del suelo podrían ser más importantes que las del aire, puesto que la planta está casi totalmente incluida en el microclima del suelo durante

germinación y emergencia; en esta primera etapa tienen gran importancia todas las características del suelo relacionadas con la absorción de la radiación solar —tipo, color, grado de agregación, contenido de humedad, pendiente, dirección de la pendiente, etc.—. También producirá diferencias la profundidad de siembra; en la época en que se lleva a cabo ésta, la temperatura del suelo muestra un retraso en relación con la temperatura del aire, de modo que las sumas acumuladas sobre la base de esta última podrían ser demasiado altas para expresar el crecimiento de las plántulas hasta su emergencia. No obstante, si el suelo está seco, su temperatura media puede estar por encima de la del aire a poca profundidad (HOLMES y ROBERTSON, 1959).

A medida que las plantas emergen, el microclima del suelo va perdiendo su importancia. Al ir desarrollándose la cubierta vegetal, su parte superior pasará a ser la superficie activa, y puesto que es irregular en su forma, la superficie de intercambio será mucho mayor que la que presentaba el suelo parcialmente cubierto. La celeridad con que las plantas cubren la superficie del suelo puede ser afectada por la densidad de siembra. Cuanto más pronto el suelo queda cubierto, tanto antes comienza la competencia entre plantas, con una subsecuente reducción en el ritmo de crecimiento. Debido a esto, una población vegetal poco numerosa maduraría ligeramente antes que una población más densa, siempre que las diferencias no sean debidas a la presencia de malezas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos debieran alentar futuras investigaciones usando el método de BROWN, aparentemente el mejor para pronosticar fases en maíz dentado, poniendo énfasis en el entendimiento de la variabilidad resultante al considerar diferentes umbrales térmicos para las temperaturas mínimas diarias, especialmente en el período que va desde espigazón a madurez. También se estima conveniente encarar su empleo con otras especies vegetales de ciclo estival. Esto deberá ser complementado con estudios relativos a la finalización del desarrollo del cultivo, comparando la maduración córnea con la aparición de la capa negra.

A pesar de que aparentemente no constituyeron

la mejor expresión para el cálculo de las sumas térmicas, los métodos basados en el índice residual (ST10, WB 10/30 y Purdue), no debieran ser totalmente descartados. El próximo paso tal vez debiera consistir en la búsqueda de algún medio que permita estimar la base térmica correcta para cada año y lugar. ARNOLD (1959) lo hizo para maíz dulce pero sus hallazgos no parecen ser aplicables a maíz dentado en el hemisferio norte, probablemente debido al período vegetativo más largo característico de este último cultivo. En cuanto a WB 4,4/30, no parece mejorar el método corrientemente usado por el servicio meteorológico de los EE. UU. y por tanto se estima que debe ser descartado. Sólo surgirán diferencias con el WB 10/30 cuando las temperaturas mínimas sean inferiores a 10° C, en cualquier otro caso los valores serán idénticos.

Para un futuro cercano se ha previsto una nueva comparación de estos métodos aplicándolos a cultivos de maíz dentado realizados en la Argentina.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- ASPIAZÚ, C., 1971. *Comparison of several methods of heat unit calculation for corn (Zea mays L.)*. M.S. thesis. Ames, Iowa State University Library, 148 p. (dactilografiadas).
- BROWN, D., 1960. *Soybean ecology. I. Development temperature relationships from controlled environment studies*. Agron. J. 52 : 493-496.
- 1963. *A «heat unit» system for corn hybrid recommendations*. National Conference on Agricultural Meteorology 5th, Lakeland, Florida, Toronto, Ontario Research Foundation (10 p. dactilog.).
- 1969. *Heat units for corn in southern Ontario*. Department of Agriculture and Food, Ontario, Information Leaflet (AGDEX III/31, April).
- DAUBENMIRE, R. F., 1959. *Plants and environment*. 2nd. ed. New York, John Wiley and Sons.
- DAYNARD, T. B. and DUNCAN, W. G., 1969. *The black layer and grain maturity in corn*. Crop Sci. 9 : 473-476.
- FELCH, R. E., 1970. *Computer program for heat unit calculation*. Ames, Iowa State University, Department of Agronomy. (Dactilog.).
- GILMORE, E. and ROGERS, J. S., 1958. *Heat units as a method of measuring maturity in corn*. Agron. J. 50 : 611-615.
- HOLMES, R. M. and ROBERTSON, G. W., 1959. *Heat units and crop growth*. Publs. Dep. Agric. Can. 1042, 31 p.
- KIESSELBACH, T. A., 1950. *Progressive development and sea-*

- sonal variations of the corn crop.* Nebraska Agr. Exp. Stn. Res. Bul. 166.
- LIVINGSTON, B. E., 1916. *Physiological temperature indices for the study of plant growth in relation to climatic conditions.* Physiol. Res. 1 : 399-420.
- LIVINGSTON, B. E. and LIVINGSTON, G. I., 1913. *Temperature coefficients in plant geography and climatology.* Bot. Gaz. 56 : 349-375.
- NUTTONSON, M. Y., 1918. *Some preliminary observations of phenological data as a tool in the study of photoperiodic and thermal requirements of various plant material.* Ed : MURNEEK, A. E. and WHYTE, R. O., *Vernalization and photoperiodism.* A Symposium. Waltham (Mass.), Chronica Botanica.
- 1953. *Phenology and thermal environment as a means for a physiological classification of wheat varieties and for predicting maturity dates of wheat.* Washington, American Institute of Crop Ecology.
- PEASLEE, D. E., RAGLAND, J. L. and DUNCAN, W. G., 1971. *Grain filling period of corn as influenced by phosphorus, potassium and the time of planting.* Agron. J. 63 : 561-563.
- PRICE, H. L., 1911. *The application of meteorological data in the study of physiological constants.* Va. Agric. Exp. Stn. Ann. Rep. 1909-1910 : 206-212.
- RENCH, W. E. and SHAW, R. H., 1971. *Black layer development in corn.* Agron. J. 63 : 303-305.
- SHAW, R. H. and THOM, H. C. S., 1951. *On the phenology of field corn, the vegetative period.* Agron. J. 43 : 9-15.
- SNEDECOR, G. W. and COCHRAN, W. G., 1967. *Statistical methods.* 6th. ed. Ames, Iowa State University Press, 593 p.
- WANG, J. Y., 1960. *A critique of the heat unit approach to plant response studies.* Ecology 41 : 785-790.
- 1963. *Agricultural meteorology.* Milwaukee (Wis.), Pacemaker Press, 693 p.
- WENT, F. W., 1957. *Experimental control of plant growth.* Chronica Botanica, Waltham (Mass.).