

FENOLOGIA DE MAIZ Y FRIJOL EN EL ALTIPLANO DE ZACATECAS.

II. UNIDADES CALOR (UC) Y DESARROLLO FENOLOGICO

Javier Flores M., J.L. Chan C. y Angel Bravo L.¹

RESUMEN

El uso de los días del calendario para predecir etapas fenológicas en cultivos anuales presenta el inconveniente de la variación entre localidades con climas muy contrastantes. La temperatura es un factor climático altamente relacionado con el desarrollo de los cultivos y las unidades calor (UC) se han empleado para explicar el efecto térmico acumulativo en las plantas. El propósito de este estudio fue evaluar cuatro métodos para estimar unidades calor en maíz (exponencial, fisiológico, residual y residual zonas frías) y dos variantes del método residual en frijol (uno con temperatura base de 8°C y otro con 10°C), para seleccionar el más asociado al desarrollo de cada especie, en el Altiplano de Zacatecas. En 1983, los resultados indicaron que los cuatro métodos se ajustaron bien con las etapas fenológicas del maíz clasificadas con base en el código decimal fenológico. La acumulación de calor por el método fisiológico apenas alcanzó alrededor de 1700 UC, lo cual indica que en esta región existe insuficiente acumulación de calor para la producción de maíz, comparada con la que se presenta en las zonas productoras de grano de maíz en el mundo.

Respecto al frijol, posiblemente debido a que ese año fue relativamente frío, tampoco se encontraron diferencias entre las dos variantes del método residual. Se resalta la necesidad de realizar restudios de este tipo en frijol para compararlos con los de otras regiones productoras de esta leguminosa, a nivel regional, nacional o mundial.

¹Investigadores INIA-CIANOC-CAEZAC. Proyecto Agua.

SUMMARY

The use of calendar days to predict phenological development in annual crops is not convenient because of the variability among locations and climates. Temperature is a climatic factor highly related to crop development, and heat units (HU) have been used to explain accumulative thermal effects in plants. The objective of this study was to evaluate four methods that estimate HU in corn (exponential, physiological, residual, and residual for cold zones), and two versions of the residual method in dry beans (one in which base temperature was 8°C while in the other it was 10°C), in order to find the best method to explain the development of each crop in the highlands of Zacatecas. In 1983, results indicated that the four methods adjusted well to the phenological stages of maize as coded by the decimal code of phenology. The accumulated heat as estimated by the physiological method just reached 1700 HU, which indicates that this area has not enough heat for maize production, as compared to other production zones in the world.

In relation to dry beans, there were no differences between the two versions of the residual method, perhaps due to the fact that 1983 had a fresh summer. Research of this type is lacking in order to compare heat accumulation among different production regions of this legume.

INTRODUCCION

En la actualidad, con base en la longitud de su ciclo biológico, las variedades e híbridos de maíz en México se clasifican en precoces, intermedios o tardíos. Esta clasificación es ineficiente, principalmente porque utiliza los días del calendario (o edad cronológica) para contabilizar la duración del ciclo, lo cual tiene el inconveniente de que cada día se pondera con el mismo valor durante el ciclo de cultivo, independientemente de las condiciones climáticas que imperen en cada localidad, o a lo largo de la estación de crecimiento.

La importancia de la influencia de la temperatura sobre los cultivos ha sido tema de estudio desde hace muchos años; por ejemplo, Russelle

et al. (1984) hacen referencia al trabajo de Reaumur, quien en 1735 ya indicaba que el tiempo no está tan estrechamente relacionado con el desarrollo de la planta, como la acumulación de temperaturas.

Durante el desarrollo de un cultivo intervienen muchos factores ambientales; sin embargo, la temperatura está altamente correlacionada con el crecimiento (Gilmore y Rogers, 1958). Aunque la temperatura por sí sola no determina el estado de desarrollo de un cultivo, en algunos trabajos este factor ambiental ha sido usado como base para la clasificación del desarrollo y madurez de los cultivos, como mencionan Mederski et al. (1973).

La temperatura normalmente se registra con base en las máximas y mínimas diarias, por lo que es deseable que a partir de ellas se deriven índices que faciliten el establecimiento de relaciones con fines agrícolas. Russelle et al. (1984) mencionan que los índices de temperatura como los "Grados de Desarrollo (GD)" o las "Unidades Calor (UC)" se han utilizado en numerosos trabajos para predecir crecimiento y desarrollo de cultivos, clasificar especies y variedades, o evaluar climas para combinaciones específicas de manejo de cultivos. Asimismo, señalan que la mayoría de los índices de temperaturas propuestos muestran una alta correlación con el crecimiento y desarrollo de las plantas y añaden que los índices de temperatura explican más del 95% de la variabilidad en el desarrollo del maíz, aun bajo condiciones de campo.

De Fina y Ravelo (1975) definen a la fenología como una rama de la ecología que estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con factores ambientales tales como la temperatura, luz, humedad, etc.; de esta definición puede derivarse la importancia de la relación entre índices derivados de la temperatura, con la fenología de los cultivos.

Según Mederski et al. (1973), el primer investigador que realizó un trabajo de este tipo fue Reaumur, quien demostró que la suma de temperaturas medias diarias del aire fue casi constante para un estado dado del desarrollo de una planta. Posteriormente, al estimar las UC para

maíz, al método desarrollado por Reaumur se le restaba 10°C; aunque se mejoró el método de Reaumur, aún se tenía la limitación de no representar las unidades calor efectivas, debido a que las temperaturas óptimas de crecimiento sobreestiman o subestiman las UC, según fuera el caso. Por lo anterior, Gilmore y Rogers (1958) desarrollaron y evaluaron una modificación a este último método para maíz, en el que establecían temperaturas base para las máximas y mínimas en la formulación. Este método se utiliza actualmente para el cálculo de UC en el Servicio Meteorológico de los Estados Unidos de Norteamérica.

Brown (1963) desarrolló un método que trata separadamente el efecto de las temperaturas diurnas y nocturnas en maíz. Aspiazú (1971) pronosticó fases fenológicas en maíz usando diferentes métodos de estimación de UC y obtuvo buenos resultados con el "método de Brown". Coincidiendo con los resultados obtenidos por Aspiazú, Mederski *et al.* (1973) obtuvieron buenos resultados con el "método de Brown" en comparación con otros cinco métodos de cálculo de UC.

Treidl (1977) usó el "método de Brown" para zonificar regiones con posibilidades de producir maíz en Canadá e indica que un mínimo de 2 500 UC son necesarias para que el maíz llegue a su madurez de grano y que se requiere un mínimo de 2 000 UC para obtener maíz para ensilar.

En cuanto al "método exponencial", De Fina y Ravelo (1975) e Iwata (1975) coinciden en señalar que este método está basado en el principio de Van't Hoff y Arrhenius, en el que se postula que "la velocidad de las reacciones se duplica por cada aumento de 10°C en la temperatura". También convergen en el criterio del uso de este método en climas calurosos, pues computa las temperaturas elevadas como muy eficientes cuando en la práctica, arriba de cierta temperatura, cualquier elevación térmica es más perjudicial que benéfica para las plantas. En consecuencia, una modificación importante a este método que muchos autores han denominado "Índice Residual" ha sido la de establecer ciertas restricciones (Iwata, 1975) en las que se descuentan las temperaturas superiores a cierta temperatura máxima o inferiores a cierta temperatura mínima. Villalpando (1983) sugiere la utilización de una variante que se ha utilizado en

regiones templado-frías para no subestimar la acumulación de UC; dicha variante se ubica dentro del "método residual".

En frijol se conocen pocos estudios de este tipo. Robertson y Frazier (1978) encontraron que el frijol requiere 1800 UC de siembra a cosecha, determinadas por el método residual, el cual es utilizado por el Servicio Meteorológico de E.U. Los mismos autores resaltan la importancia de utilizar las UC para determinar fechas de siembra conjuntamente con datos de heladas y precipitación. En otras leguminosas, Iwata (1975) menciona resultados obtenidos con soya y chícharo.

El propósito del presente estudio fue evaluar diferentes métodos de estimación de UC, para seleccionar los que se ajusten mejor a la descripción de estados fenológicos del maíz y frijol, expresados mediante el código decimal fenológico (CDF), en el Altiplano de Zacatecas.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se derivó de una serie de experimentos del Proyecto Agua del Campo Agrícola Experimental de Zacatecas (CAEZAC) durante el ciclo Primavera-Verano de 1983, en terrenos del propio campo experimental.

En el caso del maíz, se sembraron cuatro experimentos con el híbrido H-220: dos el día 20 de abril (Exps. 1 y 3) y dos el 20 de mayo (Exps. 5 y 6). Dos diferentes manejos fueron aplicados a los experimentos de una misma fecha: a) En un experimento se aplicó riego en diferentes etapas fenológicas y b) en el otro, el riego se aplicó cuando existían diferentes niveles de humedad aprovechable e incluyó también diferentes niveles de fertilización nitrogenada y de densidad de siembra. En el caso del frijol, también se establecieron 4 experimentos (Nos. 2, 4, 7 y 8) cuyos tratamientos fueron similares a los mencionados para maíz.

En cada experimento se registraron los datos fenológicos de cada especie utilizando la escala del CDF propuesto por Chan y Bravo (1986) y posteriormente, de cada etapa fenológica se obtuvo el promedio de días en

que ocurrió dicha etapa y se le calcularon las UC acumuladas hasta cada período.

Métodos de estimación de UC

Los métodos aplicados al maíz fueron los cuatro siguientes:

1. Método Exponencial

Este método, basado en la ley de Van't Hoff y Arrhenius, utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de UC:

$$UC = 2^{(Ti - 4.5)/10} \quad (1)$$

donde

Ti = Temperatura media diaria (°C)

UC = Unidades calor diarias

2. Método Fisiológico

Brown (1963) desarrolló este método cuya importancia radica en que trata separadamente las temperaturas diurnas y nocturnas. La fórmula se describe de la siguiente manera:

$$UC = \frac{Y \text{ máx} + Y \text{ mín}}{2} \quad (2)$$

donde

$$Y \text{ máx} = 1.85 (T \text{ máx} - 10) - 0.026 (T \text{ máx} - 10)^2$$

T máx = Temperatura máxima diaria (°C)

$$Y \text{ mín} = T \text{ mín} - 4.4$$

T mín = Temperatura mínima diaria (°C)

UC = Unidades Calor Diarias

3. Método Residual

El método residual es el más popular desde hace varios siglos, con diferentes restricciones en su fórmula que básicamente incluye:

$$UC = \frac{T \text{ máx} + T \text{ mín}}{2} - TB \quad (3)$$

donde

$T \text{ máx}$ = Temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$)

$T \text{ mín}$ = Temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$)

TB = Temperatura base o umbral cuyo valor depende de cada cultivo.

Restricciones impuestas a este método para el caso del maíz fueron: si $T \text{ máx}$ es mayor de 30°C = 30°C , $T \text{ mín}$ es menor de 10°C = 10°C ; se utilizó una $TB = 10^{\circ}\text{C}$.

4. Método Residual Zonas Frías

Este método es una modificación al método anterior, propuesta por Villalpando (1983), con objeto de no subestimar las unidades calor en aquellos lugares con climas templados-fríos; tiene las siguientes restricciones: si \bar{T} diaria es mayor que 10°C pero menor que 15.6°C y la $T \text{ máx}$ es mayor que 18.3°C , añadir a las UC para ese día el número de grados que excedan a 18.3°C .

En frijol, se empleó dos variantes de la fórmula (3), correspondiente al método residual, con la única restricción de que la TB fue de 10 y 18°C , para cada variante, respectivamente.

Relaciones entre Variables

Para encontrar la relación existente entre dos o más variables se emplean ecuaciones matemáticas (Spiegel, 1970), las que se describen gráficamente mediante curvas de ajuste. La relación entre temperatura y desarrollo de cada especie y en cada fecha de siembra, se describió a través de todo el período de crecimiento de las mismas, referido en todas sus etapas mediante el CDF y su relación con las UC acumuladas a cada etapa fenológica, para finalmente discriminar el método de estimación

de UC que presentó la mejor curva de ajuste entre las variables en estudio.

De esta manera, en la primera fecha (20 de Abril), se utilizó una función de ajuste de curvas del tipo cuadrático, la cual está dada por la ecuación:

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (4)$$

A la segunda fecha (20 de Mayo), se le ajustó un modelo de tipo exponencial dado por la siguiente ecuación:

$$Y = a + b^X \quad (5)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

En maíz, los Cuadros 1 y 2 muestran los resultados obtenidos en los experimentos 1 y 6, sembrado el 20 de abril y el 20 de mayo, respectivamente. En ellos, se incluye la clasificación del CDF, los días después de la siembra, así como las UC acumuladas a cada etapa del CDF, desde la siembra hasta la senescencia foliar, para cada método. En ambos cuadros destaca el alto valor y gran similitud de los coeficientes de determinación (R^2) de cada método, lo cual es ratificado en el Cuadro 3, donde se presentan los valores de R^2 obtenidos para cada método en cada uno de los cuatro experimentos de maíz, observándose que cualquiera de ellos podría ser de utilidad para estimaciones de UC en esta especie.

Con el objeto de ejemplificar visualmente los resultados, se presenta la gráfica de la curva de ajuste obtenida para el Exp. 3 (Figura 1).

En Zacatecas, los bajos rendimientos de maíz se han atribuido, frecuentemente, a lo escaso y errático de la precipitación; sin embargo, se puede señalar que el maíz en esta zona tiene también limitaciones en cuanto a la acumulación del calor necesario para una mejor expresión de su desarrollo, ya que comparando los valores obtenidos con el "método fisiológico" de acumulación de UC en la siembra del 20 de mayo (Cuadro 2),

Cuadro 1. Unidades calor (UC) estimadas con diferentes métodos durante el ciclo de cultivo y su relación con la fenología del maíz. Experimento 1, sembrado el 20 de abril de 1983.

CDF ¹	DDS ²	Unidades calor (UC)			
		Exponen.	Fisiol.	Residual	Residual Z.F.
1	1	3	15	9	9
10	9	21	113	73	91
13	13	32	174	113	131
15	17	43	234	152	170
16	21	53	294	191	209
18	24	61	335	217	235
19	26	66	365	234	252
21	31	80	440	280	298
24	30	77	425	271	289
25	40	100	536	333	351
28	49	122	659	403	421
29	61	154	838	512	530
30	75	188	1020	611	631
33	75	188	1020	611	631
36	75	188	1020	611	631
43	79	195	1054	625	646
49	85	208	1119	659	687
53	97	232	1247	727	771
56	98	235	1260	734	778
66	110	262	1408	813	858
69	110	262	1408	813	858
73	115	273	1467	843	895
76	124	292	1567	892	956
79	124	292	1567	892	956
83	124	292	1567	892	956
86	139	326	1725	995	1071
89	139	326	1725	995	1071
93	167	386	2045	1164	1284
96	167	386	2045	1164	1284
99	191	435	2290	1307	1474
R ²		0.96	0.96	0.95	0.95

¹ CDF = Código decimal de fenología.

² DDS = Días después de la siembra.

Cuadro 2. Unidades calor (UC) estimadas con diferentes métodos y su relación con la fenología del maíz. Experimento 6, sembrado el 20 de mayo de 1983.

CDF ¹	DDS ²	Unidades calor (UC)			
		Exponen.	Fisiol.	Residual	Residual Z.F.
16	39	98	528	306	309
18	42	105	567	327	331
19	46	113	604	344	349
20	49	118	629	354	360
21	51	122	649	365	377
24	53	126	670	376	392
28	69	160	849	471	502
30	69	160	849	471	502
33	69	160	849	471	502
39	75	174	926	514	545
40	81	187	994	547	580
43	81	187	994	547	580
46	81	187	994	547	580
50	95	217	1154	628	679
53	95	217	1154	628	679
56	95	217	1154	628	679
59	95	217	1154	628	679
60	95	217	1154	628	679
63	110	251	1341	732	795
66	110	251	1341	732	795
69	110	251	1341	732	795
70	110	251	1341	732	795
76	129	292	1557	842	921
79	129	292	1557	842	921
80	129	292	1557	842	921
83	129	292	1557	842	921
86	129	292	1557	842	921
89	145	326	1740	951	1088
90	145	326	1740	951	1088
93	145	326	1740	951	1088
96	145	326	1740	951	1088
R ²		0.99	0.99	0.98	0.98

¹ CDF = Código decimal de fenología.

² DDS = Días después de la siembra.

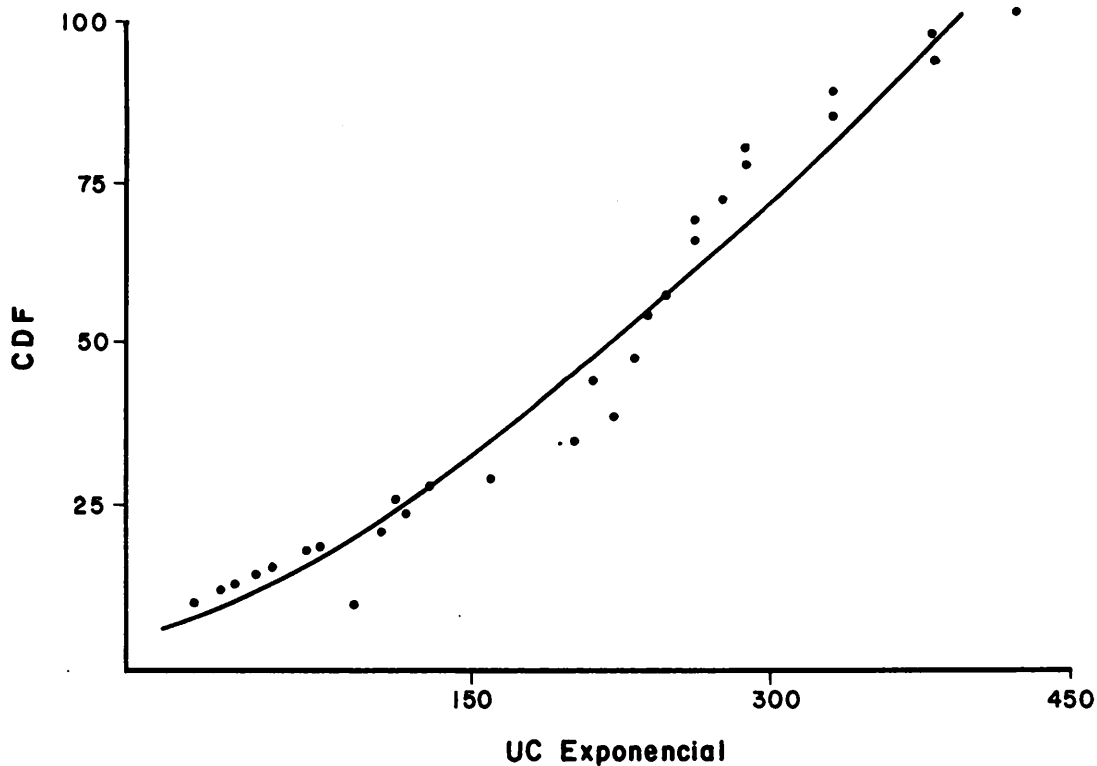


Fig. 1 Curva de ajuste para la relación de unidades calor (UC) con código decimal fenológico (CDF) utilizando el método exponencial. Experimento 3, sembrado el 20 de abril de 1983.

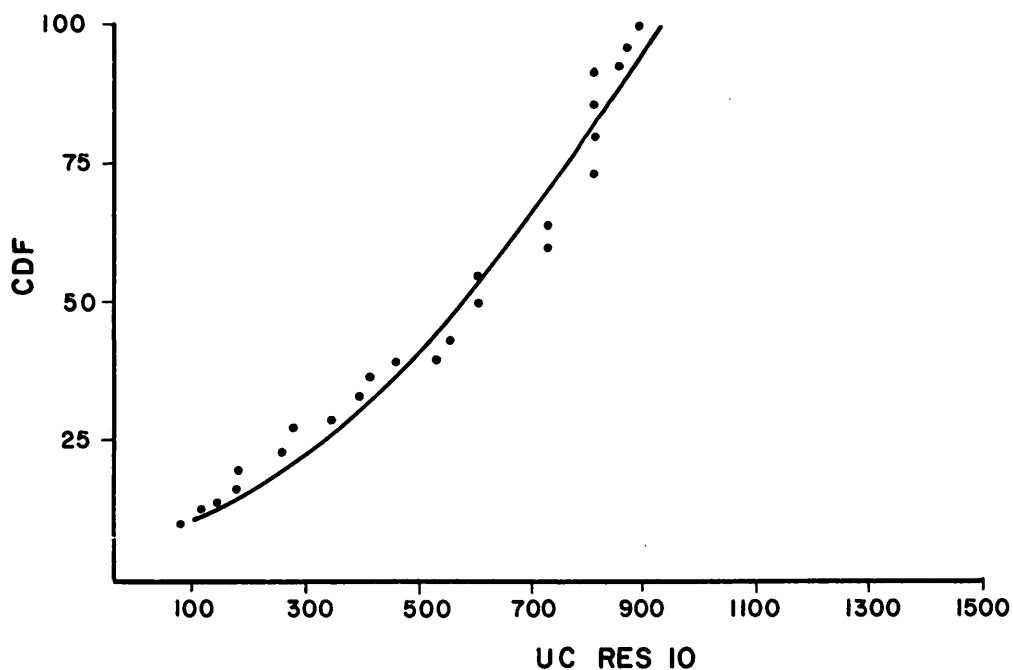


Fig. 2 Curva de ajuste para la relación de unidades calor (UC) con código decimal fenológico (CDF) para frijol utilizando una temperatura base de 10°C. Experimento 4, sembrado el 20 de abril de 1983.

Cuadro 3. Valores de R^2 para las relaciones entre las etapas de desarrollo fenológico y las unidades calor acumuladas estimadas por cuatro métodos, en cada experimento de maíz, 1983.

No. Exp.	M E T O D O S			
	Exponen.	Fisiol.	Residual	Res. Zonas F.
1	0.96	0.96	0.95	0.95
3	0.96	0.96	0.96	0.96
5	0.98	0.98	0.97	0.97
6	0.99	0.99	0.98	0.98

se tiene un total de 1557 UC de siembra a madurez fisiológica, mientras que normalmente se espera que en una región productora de maíz de grano, debería haber según Brown, citado por Triedl (1977), un mínimo de 2500 UC.

De manera similar, en los Cuadros 4 y 5 se presenta la información correspondiente a los experimentos 2 y 7 de frijol, respectivamente. Considerando los valores de R^2 obtenidos en tales experimentos y en virtud de que las R^2 de los Exptos. 4 y 8 variaron entre 0.97 y 0.98 para ambos métodos, se deduce que no existe diferencia entre los dos métodos; es decir, cualquiera de ellos puede utilizarse en la estimación de UC relacionadas con cada etapa del CDF, en frijol. La Figura 2 ejemplifica una de las relaciones obtenidas.

Según Robertson y Frazier (1978) para obtener producción óptima de frijol, se necesitan acumular 1800 UC por el "método residual" (10°C), de la siembra a la cosecha. En el altiplano de Zacatecas y para las condiciones ambientales imperantes en 1983, con este método se acumularon 892 UC en la primera fecha de siembra (20 de abril) y 731 UC en la segunda (20 de mayo); es decir, en esta región prevalece un déficit térmico aparente de más del 50% respecto al observado en otras zonas de producción de esta leguminosa.

Cuadro 4. Unidades calor (UC) estimadas con dos versiones del método "Residual" y su relación con la fenología del frijol. Experimento 2, sembrado el 20 de abril de 1983.

CDF ¹	DDS ²	Unidades calor (UC)	
		Residual (10°C)	Residual (8°C)
01	1	9.25	11.25
10	9	72.75	83.00
12	13	112.75	129.75
14	17	152.25	175.50
17	21	190.50	219.00
19	21	190.50	219.00
20	22	198.75	228.25
23	28	252.25	292.00
26	36	324.25	378.00
29	42	345.50	406.25
33	49	402.75	476.50
36	50	412.25	488.00
39	56	471.00	558.25
40	61	511.50	605.00
44	65	546.50	648.00
50	71	593.00	706.50
54	75	610.75	730.00
60	97	727.00	880.75
64	97	727.00	880.75
84	110	812.95	988.75
89	110	812.95	988.75
90	113	829.45	1010.75
94	119	862.70	1055.25
99	124	892.45	1099.75
R ²		0.98	0.98

¹ CDF = Código decimal de fenología.

² DDS = Días después de la siembra.

Cuadro 5. Unidades calor (UC) estimadas con dos versiones del método "Residual" y su relación con la fenología del frijol. Experimento 7, sembrado el 20 de mayo de 1983.

CDF ¹	DDS ²	Unidades calor (UC)	
		Residual (10°)	Residual (8°)
23	39	306.25	372.00
26	42	326.75	399.25
29	48	350.25	432.75
30	53	375.75	464.75
33	53	375.75	464.75
36	53	375.75	464.75
40	69	470.50	584.50
44	69	470.50	584.50
50	69	470.50	584.50
54	81	546.75	611.75
59	81	546.75	681.75
60	81	546.75	681.75
64	81	546.75	681.75
70	95	628.00	787.50
74	95	628.00	787.50
79	95	628.00	787.50
84	110	731.50	913.25
89	110	731.50	913.25
90	110	731.50	913.25
94	110	731.50	913.25
R ²		0.97	0.97

¹ CDF = Código decimal de fenología.

² DDS = Días después de la siembra.

CONCLUSIONES

Los métodos empleados en esta investigación para estimar la acumulación de unidades calor en maíz y en frijol, en el Altiplano de Zacatecas, fueron igualmente eficientes para relacionar el desarrollo fenológico con la cuantificación térmica, pues los coeficientes de determinación oscilaron entre 0.95 y 0.99, dependiendo del método y de la especie evaluada. Es recomendable continuar la evaluación de los regímenes térmicos, y sería muy deseable aumentar el número de localidades y genotipos. Asimismo, se sugiere que aquellas observaciones que se hagan en cuanto a los déficits de humedad de algunos cultivos, cuando menos en la zona de Zacatecas, sean acompañadas también por algunas observaciones

en donde se cuantifique el factor temperatura.

Se resalta la importancia de la cuantificación térmica y fenológica para comparar el potencial de producción entre regiones y entre genotipos con fines de diagnóstico.

BIBLIOGRAFIA

- Aspiazú Celestino. 1971. Pronóstico de fases en cultivos de maíz dentado mediante suma de temperaturas. Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, Argentina.
- Brown, D. 1963. A "heat unit" system for corn hybrid recommendations. National Conference on Agricultural Meteorology (5th). Lakeland, Florida, Toronto, Ontario Research Foundation (10 p. dactilog).
- Chan C., J.L. y A. Bravo L. 1986. Fenología de maíz y frijol en el Altiplano de Zacatecas. I. El código decimal. Fitotecnia 7: 49-65
- De Fina A., L. y A.C. Ravelo. 1975. Climatología y Fenología Agrícolas. Ed. Universitaria de Buenos Aires, Argentina.
- Iwata, Fumio. 1975. Heat unit concept of crop maturity. In: Physiological aspects of dryland farming. Gupta U.S. (ed.) Oxford and IBH Publishing Co. India.
- Gilmore, E. and J.S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agron. J. 50: 611-615.
- Robertson, L.S. and R.D. Frazier. 1978. Drybean production, principles and practices. Cooperative Extension Service. Agric. Expt. Stat. Michigan State University.
- Russelle, M.P., W.W. Wilhelm, R.A. Olson, and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. Crop Sci. 24: 28-32.
- Spiegel, M.R. 1970. Estadística. McGraw Hill. México.
- Treidl, R.A. 1977. Zonation for maize (corn) growing in Canada. In: Agrometeorology of the maize (corn) crop. WMO No. 481. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva Switzerland.

Villalpando J., F. 1983. Taller de trabajo sobre metodología de investigación en agroclimatología. Cuernavaca, Morelos. Apuntes mecanografiados. INIA.

Índice

1. Introducción
2. Metodología de la investigación
3. Metodología de la investigación en agroclimatología
4. Metodología de la investigación en agroclimatología
5. Metodología de la investigación en agroclimatología
6. Metodología de la investigación en agroclimatología
7. Metodología de la investigación en agroclimatología
8. Metodología de la investigación en agroclimatología
9. Metodología de la investigación en agroclimatología
10. Metodología de la investigación en agroclimatología

11. Metodología de la investigación en agroclimatología
12. Metodología de la investigación en agroclimatología
13. Metodología de la investigación en agroclimatología
14. Metodología de la investigación en agroclimatología
15. Metodología de la investigación en agroclimatología
16. Metodología de la investigación en agroclimatología
17. Metodología de la investigación en agroclimatología
18. Metodología de la investigación en agroclimatología
19. Metodología de la investigación en agroclimatología
20. Metodología de la investigación en agroclimatología

21. Metodología de la investigación en agroclimatología
22. Metodología de la investigación en agroclimatología
23. Metodología de la investigación en agroclimatología
24. Metodología de la investigación en agroclimatología
25. Metodología de la investigación en agroclimatología