



Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*, L.) en la costa central del Perú.

Evaluation of heat units for growth and development of hard yellow maize crop (*Zea mays* L.) in the central coast of Peru.

WILFREDO YZARRA¹, IRENE TREBEJO¹, VICTOR NORIEGA²

¹ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI, Casilla 11 1308, Lima 11, Perú.
 wyzarra@senamhi.gob.pe

² UNALM. Universidad Nacional Agraria La Molina. Programa de Maíz. Lima-Perú

Resumen

Este trabajo de investigación fue realizado en los terrenos del fundo de la Universidad Nacional Agraria, La Molina (latitud 12°05'S, longitud 76°57'W, altitud 238 m.s.n.m) durante la campaña agrícola 2007/2008, con 06 híbridos comerciales de maíz amarillo duro (DK-5005; AG-001; XB-8010; C-701; PM-212; EXP-10).

En este experimento se evaluaron tres métodos para determinar los grados días: método residual modificado con temperatura base 10°C (TT₁₀), método Ontario (C.H.U), método Ometto (GD_{Ometto}), para los períodos Siembra - Espiga, Espiga - Maduración Fisiológica y Siembra - Maduración Fisiológica.

Como resultado, el Método Residual (TT₁₀), con temperatura base de 10°C, fue el que presentó mejor resultados. Para los 06 híbridos, el IAF presentó un crecimiento inicial lento con aproximadamente 387 GD acumulados, luego fue creciente hasta un máximo acumulado de 773 GD para los híbridos C-701 y AG-001 con IAF máximo de 3,8 y 3,2, respectivamente, en el momento que se inicio las fases de panojamiento y espiga. Los híbridos EXP-10, DK-5005, PM-212, XB-8010 alcanzaron sus máximos IAF de 4,1; 3,1; 3,9 y 2,9 respectivamente, con aproximadamente 882 GD acumulados.

La producción de materia seca (gr/m²) presentó un crecimiento inicial lento con aproximadamente 387 GD acumulados, luego fue creciente hasta un máximo acumulado de 1241 GD para los 06 híbridos hasta lograr sus máximos valores de materia seca total de 1525, 987, 1540, 1388, 1693, y 923 g/m², para los híbridos C-701, AG-001 EXP-10, DK-5005, PM-212 y XB-8010 respectivamente.

Palabras claves: maíz, temperatura, fenología, grados días, unidades térmicas, índice de área foliar, materia seca.

Abstract

This research was conducted on the parcels of the Universidad Nacional Agraria La Molina (12°05'S, 76°57'W, 238 m.a.s.l.) during the cropping season of 2007/2008, using six hybrids of hard yellow maize (DK-5005; AG-001; XB-8010; C-701; PM-212; EXP-10).

In this experiment three methods of determining of degree-days - the modified residual method with base temperature of 10 °C (TT₁₀), the Ontario method (Crop Heat Unit) and the Ometto method (DD_{Ometto}) - were evaluated for the following seasons: sowing-spike, spike-physiological maturity and planting-physiological maturity.

The residual method (TT₁₀) with base temperature of 10 °C presented the best results. For all six hybrids the leaf area index (LAI) showed a slow initial growth with approximately 387 accumulated degree-days (DD). Then it increased up to a maximum of 773 accumulated DD for C-701 and AG-001 hybrids with maximum LAI of 3,8 and 3,2 respectively at the beginning of the panicle and tassel stage. The EXP-10, DK 5005, PM-212, XB-8010 hybrids reached their maximum LAI of 4,1, 3,1, 3,9 and 2,9 respectively with approximately 882 accumulated DD.

Dry matter production (g/m²) showed an initial slow growth with approximately 387 accumulated DD. Then it increased up to a maximum of 1241 accumulated DD for six hybrids, until they achieved their maximum values of total dry matter of 1525, 987, 1540, 1388, 1693 and 923 g/m², for C-701, AG-001 EXP-10, DK-5005, PM-212 and XB-8010 hybrids respectively.

Keywords: maize, temperature, phenology, degree-days, heat units, leaf area index, dry matter.

INTRODUCCIÓN

El maíz amarillo es uno de los cultivos más importantes del país, por su relación con la cadena productiva maíz, avicultura y porcicultura. En el Perú, la costa reporta la mayor producción y productividad, sin embargo, el manejo del maíz aún no se realiza considerando cabalmente el factor clima y sus efectos favorables y desfavorables, es decir, el sistema de manejo actual no explota de manera conveniente las condiciones del clima en relación a las características genéticas de los principales híbridos, al periodo más idóneo para el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo, la eficiencia y oportunidad en la aplicación de los insumos y la mano de obra a utilizar.

En la costa peruana, las condiciones de cultivo son raramente encontradas en otras partes del mundo pues el clima sub-tropical de la zona permite que se pueda sembrar maíz todo el año. Sin embargo, ello no significa que se pueda sembrar la misma variedad o híbrido en diferentes épocas con iguales resultados, ya que el rendimiento del cultivo de maíz depende de la relación de dos factores esenciales. El primer factor es la naturaleza genética, representado por la semilla; y el segundo factor corresponde al ambiente donde se desarrolla, incluyendo tanto el clima como el manejo agronómico del mismo.

Durante el año 2007 el Perú produjo 1 116 Millones de toneladas de maíz amarillo duro, cosechado en 281 773 hectáreas (Ministerio de Agricultura, 2007). El 84,7% de la producción nacional de maíz amarillo se concentró en la Costa. El rendimiento promedio nacional llegó a 3,9 t/ha, aunque en algunas regiones se registraron niveles significativamente más altos que demuestran su alta competitividad en términos agronómicos: Lima (8,6 t/ha), Ica (8,0 t/ha), La Libertad (7,9 t/ha), Lambayeque (5,3 t/ha), Ancash (5,1), Piura (3,6 t/ha), Cajamarca (3,3 t/ha) y San Martín (2,0 t/ha). A pesar de estas cifras el estancamiento de la producción nacional en los últimos seis años ha sido acompañado de un incremento sostenido de las importaciones de maíz amarillo. Desde 1991 el Volumen de producción no abastece la demanda interna, en el 2007 se han importado 1 560 848.3

toneladas a un precio FOB de \$248 868.4 (miles US\$) para cubrir la demanda, siendo la producción nacional el 71,5% de la demanda nacional (Ministerio de Agricultura, 2007). Esta baja producción puede ser atribuida al inadecuado manejo del sistema de producción y al desconocimiento de la influencia del clima en la producción y productividad del cultivo; y especialmente de la falta de estudios sobre el potencial térmico para sembrar híbridos de maíz que puedan alcanzar sus rendimientos potenciales.

El presente trabajo tiene como principal objetivo a) evaluar la performance de tres modelos de grados días para predecir las fases fenológicas de los principales híbridos de maíz amarillo duro en condiciones de la costa central; y b) evaluar su relación con el índice de área foliar y producción de materia seca.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La influencia de la temperatura sobre la duración de las fases fenológicas en maíz fue puesta en manifiesto por Lehenbauer (1914). Si bien el tiempo que ocurre hasta alcanzar una determinada etapa de desarrollo no es una función lineal de la temperatura (Tollenaar et al., 1979; Warrington & Kanemasu, 1983), la respuesta de la velocidad de desarrollo (inversa a la duración en días de la etapa) a la misma, es aproximadamente lineal en el rango térmico comprendido entre una temperatura base (temperatura mínima a la cual la velocidad de desarrollo es nula y una temperatura óptima (a la cual se alcanza la máxima velocidad de desarrollo; Warrington & Kanemasu, 1983; Ellis et al., 1992). Por encima de la temperatura óptima el desarrollo se reduce progresivamente hasta detenerse al alcanzar un límite máximo de temperatura.

En maíz, la temperatura es la principal causa de variación anual en sus periodos de crecimiento y desarrollo. De esa forma, la relación entre temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los modelos para el cálculo de las sumas térmicas (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o mediante ecuaciones más complejas) ampliamente usados para predecir el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de

grados-día (Gilmore & Rogers, 1958; Cross & Zuber, 1972; Mederski et al., 1973; Brown, 1978; Bunting, 1976; Tollenaar et al., 1979; Coelho & Dale, 1980; Lozada & Angelocci, 1999).

La relación entre la temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los métodos de cálculo del tiempo térmico (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o mediante ecuaciones más complejas) ampliamente usados para predecir con éxito variable, el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día (Cross & Zuber, 1972; Derieux & Bonhomme, 1982; Ritchie & Nesmith, 1991).

Neild & Seeley (1987) mencionan también las principales aplicaciones de los GDD:

- a. Desarrollo esperado del cultivo en diferentes localidades. Lo cual ahorra muchos años de investigación y da la pauta para posteriores trabajos.
- b. Desarrollo esperado en diferentes fechas de siembra.
- c. Desarrollo esperado de diferentes híbridos.
- d. Predicción del desarrollo en futuras fechas.
- e. Pronóstico del número de días a una etapa.
- f. Estimación del número de días que el cultivo está adelantado o atrasado con respecto a lo normal.
- g. Observaciones a partir de siembras estándar para mejorar las predicciones de GDD. Tomando en cuenta que el cultivo es el principal integrador de todas las variables ambientales.
- h. Cartografiar etapas de desarrollo esperadas sobre una región de tamaño considerable. Esto mediante una red de estaciones donde se registren los datos requeridos (fenológicos y de temperatura).

Por otro lado, la simple acumulación de temperaturas medias diarias por encima de 10°C (método residual) explicó el 98 % de la variabilidad en el desarrollo del cultivo de maíz en Nebraska (Arnold, 1959) donde fueron efectuadas observaciones fenológicas semanales. Una modificación de este modelo es el denominado método residual modificado, que considera toda temperatura

máxima diaria mayor de 30°C, igual a 30°C y es uno de los modelos más ampliamente difundidos (Gilmore & Rogers, 1958; Arnold, 1959).

Los métodos anteriormente mencionados asumen una relación lineal entre las temperaturas acumuladas y la tasa de desarrollo de las plantas. Sin embargo, Brown (1978) y Kiniry & Ritchie (1981) constataron que el desarrollo relativo no siempre presenta esa relación lineal con la temperatura del aire. Al respecto, Coelho & Dale (1980) consideran que la razón de superioridad de los índices térmicos que descuentan las temperaturas muy altas es que los mismos están sirviendo como variables reemplazantes del estrés hídrico de las plantas.

Brown (1978) desarrolló un modelo de sumas térmicas, denominado método Ontario, que asume una relación parabólica entre 10 y 30 °C y lineal entre 4,4 y 10 °C, para describir la tasa de desarrollo de la planta de maíz con relación a la temperatura del aire.

A pesar de la amplia cantidad de modelos existentes y de las limitaciones que el concepto de sumas térmicas tiene para explicar todas las variables determinantes de la fenología de los cultivos, aún se trata de un índice bioclimático de gran utilización en la caracterización de los cultivos en cuanto a la duración de sus fases fenológicas y del ciclo total, en asociación con la temperatura del aire, una variable fácilmente disponible.

METODOLOGIA

La evaluación experimental fue realizado en los terrenos del fundo de la Universidad Nacional Agraria, La Molina (latitud 12°05'S, longitud 76°57'W, altitud 238 m.s.n.m), durante la campaña agrícola 1997/1998, a través de un diseño experimental estadístico de bloques completos al azar (BCA), con 4 repeticiones. Se sembraron 06 híbridos comerciales de maíz amarillo duro, estos híbridos fueron utilizados considerando su amplia difusión en la agricultura costeña y sus aparentes diferencias en cuanto a su desarrollo vegetativo y precocidad relativa, expresada esta última por el período en días desde la siembra a la floración. Los híbridos son los siguientes: DK-5005; AG-001; XB-8010; C-

701; PM-212; EXP-10. El suelo fue caracterizado como Typic Torrifluent, según Soil Taxonomy (USDA-SMSS, 1990).

La información meteorológica registrada durante la realización del presente trabajo de investigación se obtuvo de la estación Meteorológica Agrícola Principal MAP-Alexander Von Humboldt, de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las siembras fueron realizadas durante la segunda década del mes de abril, en donde se registraron temperaturas mínimas y máximas promedio de 17,2°C y 26,8°C, respectivamente. Durante el mes de junio, los híbridos de maíz amarillo duro precoces iniciaron las fases de la floración masculina y femenina, con temperaturas mínimas promedio de 12,5°C y máximas promedio de 19,5°C; durante el mes de setiembre se inició la fase de maduración fisiológica con temperatura máxima y mínima promedio de 17,9°C y 12,5°C, respectivamente.

En relación a los métodos para determinar los Grados Días de Crecimiento, se han comparado los siguientes métodos::

Método residual modificado (TT_{10})

Este método asume una temperatura base de 10°C y una temperatura máxima de 30 °C. En el caso de producirse temperaturas máximas superiores a 30 °C, serán asumidas como iguales a 30°C (Gilmore & Rogers, 1958).

$$TT_{10} = 0,5 (TM + Tm) - Tb \quad (1)$$

Donde,

TT_{10} : Valor diario de tiempo térmico.

TM: Temperatura máxima (Si $TM > 30^\circ\text{C}$, $TM = 30^\circ\text{C}$)

Tm: Temperatura mínima.

Tb: Temperatura base mínima (10°C)

Método Ontario

Este modelo considera al tiempo térmico como una función cuadrática de la temperatura máxima y una función lineal de la temperatura mínima (Brown, 1978). Asume una temperatura base máxima de 10°C y una temperatura base mínima de 4,4°C.

$$TT = 0,5 (YM + Ym) \quad (2)$$

Donde:

TT: Valor diario de tiempo térmico.

$$YM = 3,33 (TM - 10) - 0,084 (TM - 10)^2$$

$$Ym = 1,8 (Tm - 4,4)$$

TM: Temperatura máxima.

Tm: Temperatura mínima.

Método de Ometto (1981)

Para cada día se calculó el valor de los grados días (GD) por las siguientes formulas, el valor de los grados días de crecimiento (GDD) fue obtenido sumando los valores de GD de los subperiodos:

$$GD = \left(\frac{TM - Tm}{2} \right) + (Tm - Tb) \quad (3)$$

Cuando $Tm > Tb$ y $TM < TB$

$$GD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)} \quad (4)$$

Cuando $Tm < Tb$ y $TM < TB$

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)^2}{2(TM - Tm)} \quad (5)$$

Cuando $Tm > Tb$ y $TM > TB$, siendo la TB la temperatura basal máxima.

Donde:

GD: Valor diario de los grados días.

TM: Temperatura máxima.

Tm: Temperatura mínima.

TB: Temperatura base máxima.

Tb: Temperatura base mínima.

Para el presente método se asume como temperatura base mínima (Tb) 8°C, (Jones & Kiniry, 1986; Kiniry & Bonhomme, 1991; Kiniry, 1991) y 34°C y como temperatura base máxima (TB) (Gilmore & Rogers, 1958; Blacklow, 1972; Tollenaar, 1979; Kiniry & Bonhomme, 1991).

Además se consideró que las plantas de cada parcela alcanzaron determinada fase fenológica cuando el 50% de las plantas presentaban las características morfológicas de la fase observada. Los eventos fenológicos fueron registrados tres veces por semana. Las fases consideradas fueron: emergencia, floración masculina (panoja), floración femenina (espiga) y maduración fisiológica. Sin embargo para el análisis de la información fenológica se analizó los períodos críticos para el crecimiento y desarrollo del cultivo: siembra a la espiga, espiga a la maduración fisiológica y de la siembra a la maduración fisiológica.

Para evaluar la performance de los modelos, se compararon los coeficientes de variación y la desviación estándar en días, así

como la comparación de medias para cada tratamiento en estudio.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observa una mayor acumulación de unidades térmicas para la fase de Siembra-Espiga, que para la fase Espiga-Maduración fisiológica para los 06 híbridos de maíz amarillo duro en estudio y para los tres métodos en comparación. Este aumento podría ser explicado por las diferencias en los fotoperíodos, al respecto, Crane et al. (1976) demostraron que existen híbridos sensibles al fotoperíodo y que la exposición de estos híbridos a fotoperíodos más largos durante la iniciación floral induce a un aumento de las unidades térmicas acumuladas hasta la formación de la espiga. La menor acumulación de unidades térmicas para completar el período Espiga-Maduración Fisiológica, para los 06 híbridos, es debido a un período vegetativo corto. No obstante, situaciones ambientales desfavorables que determinen una insuficiente provisión de nutrientes a los granos anticipan la maduración fisiológica y, por lo tanto, limitan su peso final (Cirilo & Andrade, 1996).

En la Tabla 1, también se muestran los valores medios de las sumas térmicas y los coeficientes de variabilidad calculados para los 06 híbridos de maíz amarillo duro para la Costa Central (La Molina), con el fin de efectuar comparaciones entre los métodos. El Método Ontario (C.H.U.) es el que presenta los mayores coeficientes de variabilidad para los tres períodos fenológicos (Siembra-Espiga, Espiga-Maduración Fisiológica y Siembra-Maduración fisiológica) en estudio y para los 06 híbridos de maíz amarillo duro. El Método Residual (TT_{10}) presenta los menores coeficientes de variabilidad para los períodos fenológicos de Siembra-Espiga y Siembra-Maduración Fisiológica para los 06 híbridos. El método de Ometto (GD_{Ometto}), presenta los valores intermedios. El período correspondiente al llenado de grano (Espiga-Maduración Fisiológica) es el más variable, ya que presenta los valores más altos de coeficiente de variabilidad en todos los métodos estudiados. Los híbridos C-701; DK-5005; PM-212 y XB-8010 presentaron los valores más bajos de variabilidad para el

período fenológico de Siembra-Maduración Fisiológica; sin embargo los híbridos que presentaron los menores coeficientes de variabilidad en el período Siembra-Espiga fueron el EXP-10 y el AG-001.

El análisis a través de los coeficientes de variabilidad tienen un valor relativo, ya que esta variable depende del valor de la media. Por lo tanto se recurre a un análisis similar, pero efectuado a través de las desviaciones estándar en días, que según Aspiazu y Shaw (1972) constituiría un mejor método de evaluación de los métodos de sumas térmicas porque expresa la variabilidad en días.

De todos los métodos estudiados, el Método Residual (TT_{10}) es el que presenta la menor variabilidad en días en los tres períodos fenológicos y en los 06 híbridos de maíz amarillo en estudio.

La Figura 1 presenta la Acumulación de Grados Días por los tres métodos en estudio, el Método Residual Modificado (TT_{10}), Método Ontario (C.H.U.) y el Método Ometto (GD_{Ometto}), desde la Siembra a la Maduración Fisiológica, para 06 híbridos de maíz amarillo duro. Se observa que el Método Ontario presenta lo mayores valores acumulados de unidades térmicas para todos los híbridos, debido a que se comporta como una función cuadrática de la temperatura máxima y una función lineal de la temperatura mínima (Brown, 1978). Los Métodos de Ometto y Residual presentan los valores intermedios y bajos, respectivamente.

Estos métodos se comportan de una manera lineal, y asumen una temperatura base de 10°C y una temperatura máxima de 30°C para el método TT_{10} ; y para el método GD_{Ometto} se asume una temperatura base mínima (T_b) 8°C , (Jones & Kiniry, 1986; Kiniry & Bonhomme, 1991; Kiniry, 1991) y 34°C como temperatura base máxima (TB) (Gilmore & Rogers, 1958; Blacklow, 1972; Tollenaar, 1979; Kiniry & Bonhomme, 1991).

En relación a los párrafos anteriores, se determina como el método más adecuado para la determinación de los grados días al Método Residual (TT_{10}). A partir del cual, se procede a efectuar una evaluación del Índice de área foliar y la producción de materia seca para cada híbrido de maíz amarillo duro en estudio.

La Figura 2 muestra la evolución del índice de área foliar (IAF) en función de los grados días acumulados por el Método Residual (TT_{10}) para los 06 híbridos de maíz amarillo duro. Como se puede observar en la figura, las curvas que mejor se ajustaron a los datos, a través de un análisis de regresión,

resultaron las ecuaciones de segundo grado con altos coeficientes de determinación (R^2) indicando que las curvas explican satisfactoriamente la evolución del IAF.

Tabla 1. Comparación por medio de los Coeficientes de Variabilidad (C.V.) y la Desviación Estándar en días (Desv. Días) de los diferentes Métodos de Grados Días; Método residual modificado con temperatura base 10°C, TT_{10} ; Método Ontario, C.H.U.; Método Ometto, GD_{Ometto} , para los períodos Siembra - Espiga, Espiga - Maduración Fisiológica y Siembra - Maduración Fisiológica, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Híbridos	Período	TT_{10}	C.H.U	GD_{Ometto}
C-701	Siembra - Espiga	752.5	2068.1	939.5
	C. V. (%)	3.4	4.3	3.8
	Desv. Días	25.6	88.6	36.0
	Espiga - Maduración Fisiológica	323.5	1121.8	454.0
	C. V. (%)	8.6	8.5	8.6
	Desv. Días	27.9	95.6	38.9
	Siembra - Maduración Fisiológica	1076.0	3189.9	1393.5
	C. V. (%)	1.3	1.5	1.3
EXP-10	Desv. Días	13.5	46.4	18.8
	Siembra - Espiga	794.0	2210.6	997.5
	C. V. (%)	1.4	1.6	1.5
	Desv. Días	10.8	35.2	14.6
	Espiga - Maduración Fisiológica	404.5	1391.8	564.5
	C. V. (%)	5.2	4.8	5.0
	Desv. Días	21.0	67.1	28.1
	Siembra - Maduración Fisiológica	1198.5	3602.4	1562.0
DK-5005	C. V. (%)	2.4	2.5	2.4
	Desv. Días	28.3	90.7	37.9
	Siembra - Espiga	779.9	2164.3	978.4
	C. V. (%)	1.9	2.2	2.0
	Desv. Días	14.5	48.1	19.8
	Espiga - Maduración Fisiológica	430.0	1473.1	598.5
	C. V. (%)	2.8	2.7	2.7
	Desv. Días	11.9	39.9	16.4
AG-001	Siembra - Maduración Fisiológica	1209.9	3637.4	1576.9
	C. V. (%)	1.5	1.7	1.6
	Desv. Días	18.4	60.7	25.0
	Siembra - Espiga	770.7	2133.3	965.7
	C. V. (%)	1.2	1.5	1.4
	Desv. Días	9.2	32.4	13.1
	Espiga - Maduración Fisiológica	342.7	1188.4	480.7
	C. V. (%)	6.7	6.8	6.8
PM-212	Desv. Días	23.1	81.3	32.6
	Siembra - Maduración Fisiológica	1113.5	3321.7	1446.5
	C. V. (%)	2.5	3.0	2.7
	Desv. Días	28.2	98.8	39.7
	Siembra - Espiga	801.8	2235.2	1007.8
	C. V. (%)	1.2	1.5	1.3
	Desv. Días	9.8	32.9	13.5
	Espiga - Maduración Fisiológica	424.7	1457.0	591.7
XB-8010	C. V. (%)	3.2	3.1	3.2
	Desv. Días	13.6	45.4	18.7
	Siembra - Maduración Fisiológica	1226.5	3692.2	1599.5
	C. V. (%)	1.0	1.1	1.0
	Desv. Días	12.0	39.0	16.2
	Siembra - Espiga	779.5	2161.8	977.5
	C. V. (%)	2.1	2.5	2.3
	Desv. Días	16.6	54.6	22.5
XB-8010	Espiga - Maduración Fisiológica	328.1	1139.1	460.6
	C. V. (%)	9.3	9.1	9.2
	Desv. Días	30.4	104.1	42.2
	Siembra - Maduración Fisiológica	1107.7	3300.9	1438.2
	C. V. (%)	1.9	2.2	2.0
	Desv. Días	20.7	73.4	29.4

EVALUACIÓN DE UNIDADES TÉRMICAS PARA EL CRECIMIENTO

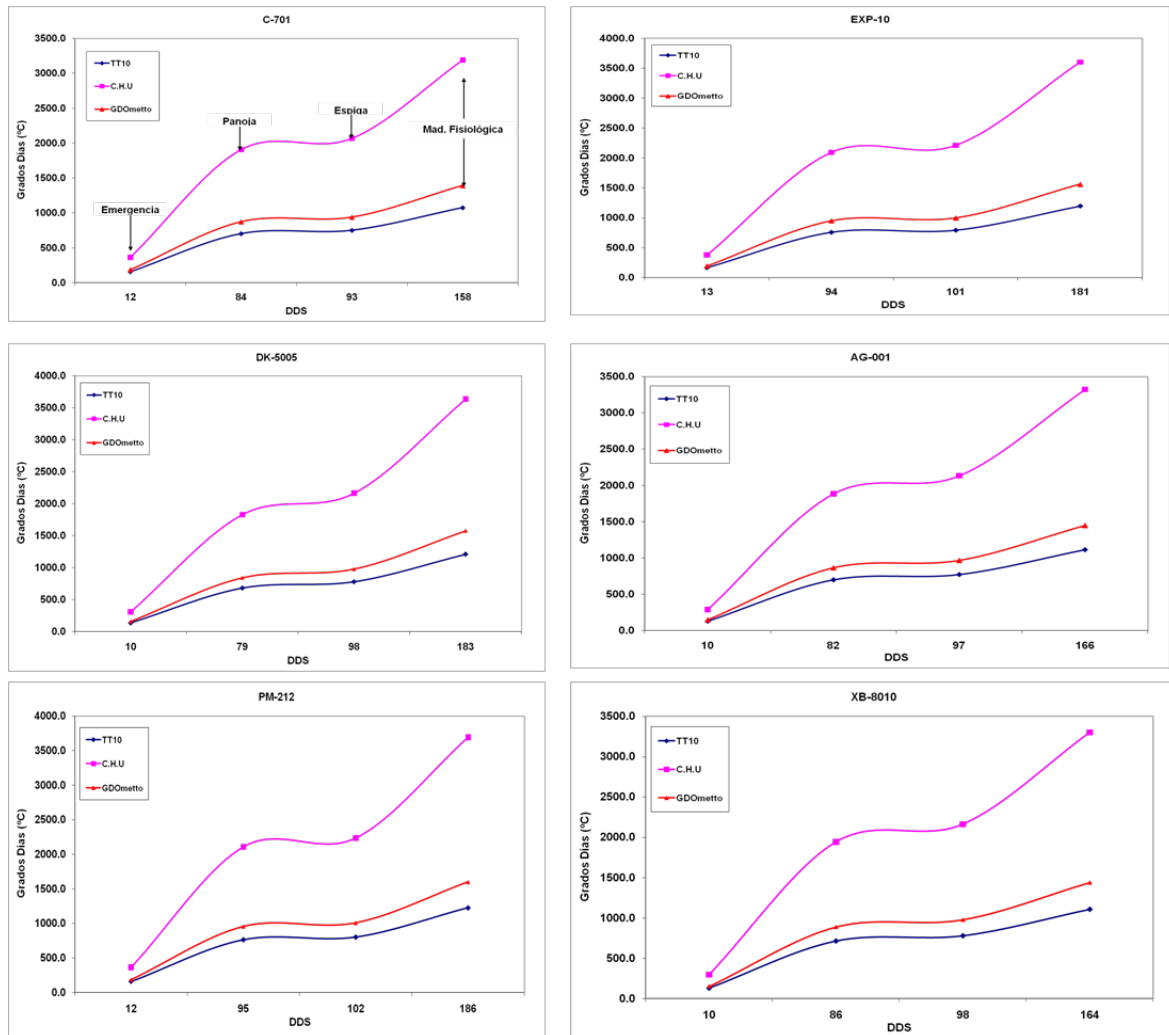


Fig. 1. Acumulación de Grados Días por el Método Residual Modificado (TT_{10}), Método Ontario (C.H.U.) y el Método Ometto (GD_{Ometto}), para los períodos de Siembra - Maduración Fisiológica, para 06 híbridos de maíz amarillo duro. C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fondo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Para los 06 híbridos en estudio el IAF presentó un crecimiento inicial lento con aproximadamente 387 GD acumulados, luego fue creciente hasta un máximo acumulado de 773 GD para los híbridos C-701 y AG-001 con IAF máximo de 3,8 y 3,2, respectivamente, en el momento que se inicio las fases de panojamiento y espiga; así mismo los híbridos EXP-10, DK-5005, PM-212, XB-8010 alcanzaron sus máximos IAF de 4,1; 3,1; 3,9 y 2,9 respectivamente, con aproximadamente 882 GD acumulados.

La Figura 3 muestra la evolución de la materia seca (g/m^2) en función de los grados días acumulados por el Método Residual (TT_{10}) para los 06 híbridos de maíz amarillo duro; como se puede observar las curvas que mejor se ajustaron a los datos fueron a través de un análisis de regresión lineal simple, con altos coeficientes de determinación (R^2) indicando que las curvas explican satisfactoriamente la evolución de la materia seca.

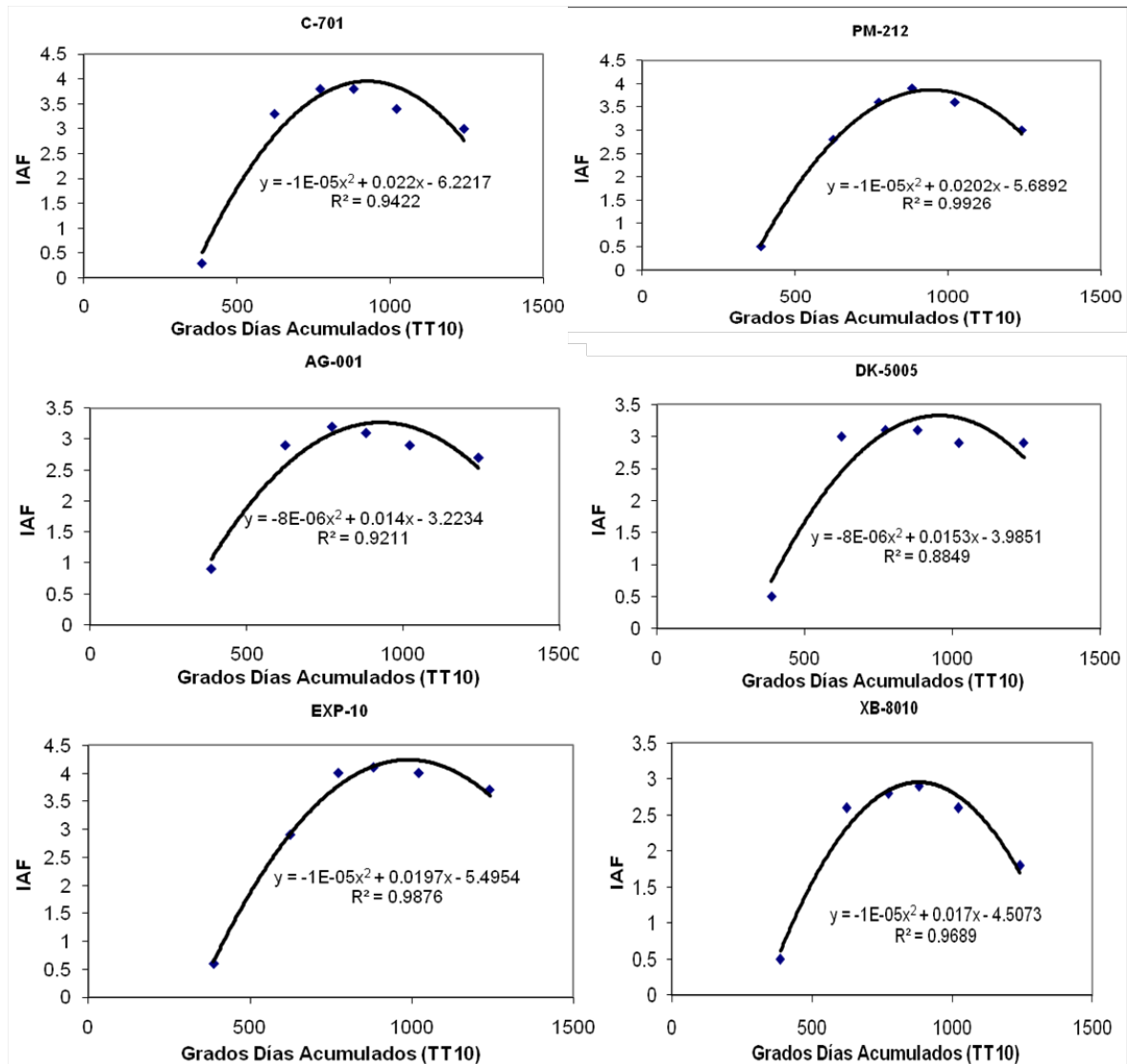


Fig. 2. Relación entre el índice de área foliar (IAF) en función de los Grados Días por el Método Residual Modificado (TT₁₀), para 06 híbridos de maíz amarillo duro. C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Así como para el IAF, la materia seca (g/m^2) presentó un crecimiento inicial lento con aproximadamente 387 GD acumulados, luego fue creciente hasta un máximo acumulado de 1241 GD para los híbridos C-701 y AG-001 con materia seca de 1526 y 987 g/m^2 , respectivamente; así mismo los híbridos EXP-10, DK-5005, PM-212, XB-8010 alcanzaron sus máximos valores de materia seca de 1540, 1388, 1693, y 923 g/m^2 , respectivamente con aproximadamente 1241 GD acumulados.

CONCLUSIONES

El Método Residual (TT₁₀), con temperatura base de 10°C, es el más se adecua a las

condiciones agroecológicas de la costa central, y especialmente en la localidad de la Molina, y es el que predice de forma más eficiente los principales eventos fenológicos para los 06 híbridos de maíz amarillo duro.

La producción de Materia seca (g/m^2) y el Índice de área foliar (IAF) en los diferentes híbridos de maíz amarillo duro pueden ser estimadas a partir de la acumulación de Grados días, los cuales al ser comparadas con los modelos de tiempo térmico presentan altos coeficientes de determinación (R^2).

Para los 06 híbridos, el IAF y la producción de materia seca (g/m^2) presentaron un crecimiento inicial lento durante las primeros estados de crecimiento,

luego fue creciente hasta las fases de panojamiento y espiga.

La estimación del momento de ocurrencias de las fases fenológicas críticas para la determinación del rendimiento

posibilita manejar el cultivo para optimizar sus estados fisiológicos en cada fase fenológica y el empleo oportuno de las distintas labores culturales.

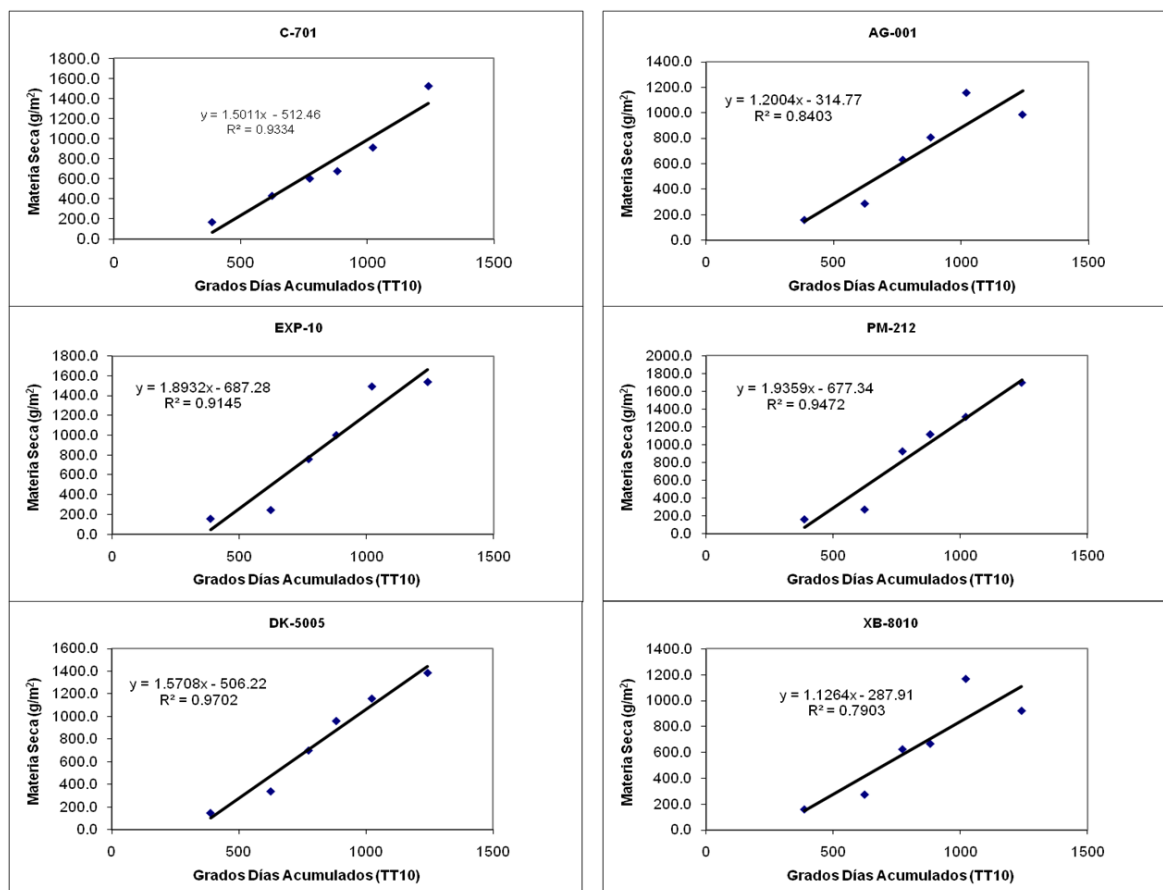


Fig. 3. Relación entre la Materia Seca (g/m^2) en función de los Grados Días por el Método Residual Modificado (TT_{10}), para 06 híbridos de maíz amarillo duro. C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Agradecimientos: Se agradece a Guillermo Baigorria por sus sugerencias que han favorecido a mejorar este documento.

BIBLIOGRAFÍA

Arnold, C. Y. (1959) The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc. Ame. Soc. Hort. Sci., 74: 430-445.

Aspiazu, C. & R.H. Shaw, (1972) Comparison of several methods of growing degreeunit calculations for corn (*Zea mays* L.). Sci., 46(4): 435-442.

Blacklow, W. M. (1972) Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). Crop Sci., 12:647-650.

Brown, D. M. (1978) Heat units for corn in Southern Ontario, Ontario Ministry of agriculture and Food, Canada, Fact sheet AGDEX 111/31, Order N° 75-077.

Cirilo A. G., & F. H. Andrade (1996) Sowing date and kernel weight in maize. Crop Sci., 36:325-331.

Crane, P., P. Goldsworthy, R. Cuany, M.S.Zuber, and C.A. Francis (1977) Climatological factors in maize adaptation. In: Agrometeorology of the maize crop. Publ. WMO-481, World Meteorological Organization, Geneva, 81-102.

Cross, H. Z. & M.S. Zuber, (1972) Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Agron. J., 64(4): 351-355.

Derieux, M., & R. Bonhomme. (1982) Heat unit requirements for maize hybrids in Europe. Results

of the European FAO sub-network. I. Sowing-silking period. *Maydica*, 27:59-77.

Ellis, R. H., R. J. Summerfield, G. O. Edmeades, & E. H. Roberts, (1992) Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. *Crop Sci.*, 32: 1225-1232.

Gilmore, E. & J. Rogers, (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.*, 50 (5): 611-615.

Jones, C. A., J.T. Ritchie, J. R. Kiniry, & D. C. Goodwin, (1986) Subroutine structure. En: CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Univ. Press, College Station, TX. 49-111.

Kiniry, J.R. (1991) Maize phasic development. En: J. Hanks y J. T. Ritchie (eds.). Modeling plant and soil systems. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph, 31: 55-70.

Kiniry, J., & J. Ritchie, (1981) Rates of leaf primordia and tip appearance of different maize genotypes in the field. *Agron. J.*, 77(5): 115-131.

Kiniry, J. & R. Bonhomme, (1991) Predicting maize phenology. En: T. Hodges (ed.). Predicting crop phenology. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor. Boston. Págs. 115-131.

Lehenbahuer, P. A. (1914) Growth of maize seedlings in relation to soil temperature. *Physiol. Res.*, 1:247-288.

Ministerio de Agricultura (2007) Dirección General de Información Agraria. Estadística Agraria Mensual-Diciembre. Lima. Perú.

Neild, R., & M.W. Seeley. (1987) Applications of growing degree days in field corn production. In: Agrometeorology of the maize crop. WMO N° 481. 426-436. Geneva, Switzerland.

Ritchie, T. & D. S. Nesmith, (1991) Temperature and crop development. En: J. Hanks y J. T. Ritchie (eds.). Modeling plant and soil systems. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph, 31:5-29.

Tollenaar, M., T. Daynard, & R. Hunter, (1979) Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Sci.*, 19(1): 363-366.

USDA-SMSS. (1990) Department of Agriculture. Soil Management Support Services. Key to soil taxonomy. Washington, DC.

Warrington, I. J., & E. Kanemasu, (1983) Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agron. J.*, 75(5): 749-754.