

CLIMA, FENOLOGIA Y SU RELACION CON EL RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN TRES AMBIENTES DE SELECCIÓN

Luis F. Campuzano Duque*

Jose D. Molina Galán**

Sanjaya Rajaram***

Maarten van Ginkel***

RESUMEN

Con base en el comportamiento de 196 materiales de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), evaluados en Obregón, Batán y Toluca, se determinó la influencia de los factores latitud, longitud y altitud sobre los elementos del clima: fotoperiodo, temperatura y radiación solar, y de estos elementos sobre la fenología del trigo, su rendimiento y componentes. Los resultados mostraron que Obregón fue la mejor localidad para rendimiento debido al mayor período vegetativo-reproductivo. Las características con mayor asociación con el rendimiento fueron: granos/m², biomasa y tasa de llenado de grano. Se observó una relación positiva entre el número de granos/m² y el peso del grano, característica no muy común en trigo.

INTRODUCCION

Las nuevas variedades de trigo liberadas por los programas nacionales generalmente muestran rendimientos altos acompañados de caracteres agronómicos deseables y resistencia a factores bióticos y abióticos de mayor importancia. Sin embargo, las bondades de las variedades antes descritas deben manifestarse en ambientes muy diversos y aún en ambientes diametrales. Es aquí, donde los fitomejoradores deben estar conscientes de la importancia que representa la interacción genotipo-ambiente y por ende la

* I.A. Ph.D., CORPOICA, Pasto, Colombia.

** I.A. Ph.D., Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

*** I.A. Ph. D., Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, El Batán, México.

necesidad de conocer las características bioclimáticas prevalentes en las localidades utilizadas como ambientes de selección y evaluación.

Un buen ejemplo de lo anterior, está representado por el germoplasma de trigo de amplia adaptación ecológica obtenidos por el CIMMYT. El alcance de tan importante logro fue el resultado de combinar alto rendimiento y estabilidad del rendimiento con resistencia a factores limitativos implementado hace más de 50 años por Borlaug (1968), estrategia conocida como "selección alternada". Las características inherentes y fijadas en este germoplasma depende en gran medida a las diferencias en latitud, longitud, altitud y estación de siembra de la localidad utilizada como ambiente de selección.

Son varios los trabajos realizados para conocer las interacciones entre el clima, la fenología y el rendimiento en trigo, en Obregón (Fischer, 1985 ; Braun *et al.*, 1992 ; Sayre *et al.*, 1997) y muy pocos en relación con Batán y Toluca, localidades éstas que también forman parte del sistema tradicional de selección alternada del CIMMYT.

Con base en lo anterior, se realizó el presente estudio, persiguiendo los siguientes objetivos: a) determinar la influencia del fotoperíodo, temperatura y radiación, en la ocurrencia del período vegetativo, reproductivo y llenado de grano del trigo en Obregón, Batán y Toluca y b) establecer, en forma conjunta, las relaciones entre clima, fenología, rendimiento y sus componentes y variables relacionadas con el rendimiento del trigo en cada localidad.

REVISION DE LITERATURA

En el trigo, el entendimiento de los eventos fenológicos es importante porque establece el marco temporal donde se forma el rendimiento y sus componentes. En esta especie, la germinación, inicial floral y floración delinear respectivamente las fases vegetativa, reproductiva y de llenado de grano (Worland *et al.*, 1988). La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura (Fischer, 1985).

El trigo posee equivalentes meteorológicos, término utilizado para referirse a los valores críticos (de exceso o deficiencia) de los elementos del clima que determinan el crecimiento, desarrollo y la formación de los componentes del rendimiento y las variables relacionadas con el rendimiento. En el caso de la temperatura sus límites son : mínimo (0-5 °C), óptimo (25-30 °C) y máxima (31-37 °C); con un fotoperíodo óptimo entre 10 y 14 horas (Braun *et al.*, 1992)

La temperatura ejerce un control regulador importante en la iniciación floral, sincronía en la formación de los componentes de rendimiento en trigo y en la fase de llenado de grano regulando los procesos de respiración y translocación (Fischer, 1985). Altas temperaturas 30 días antes de la antesis provocan esterilidad, reducción de la fotosíntesis y senescencia en las hojas y en la etapa de llenado de grano, acorta este período, acelera la tasa de crecimiento del grano y reduce su tamaño (Sayre *et al.*, 1997).

El trigo es una especie de días largos, esto significa que el progreso hacia la floración se adelanta a medida que el fotoperíodo aumenta y llega al óptimo. Este elemento del clima en interacción con la temperatura regulan la iniciación y diferenciación floral y el crecimiento del grano durante el período de llenado. (Worland *et al.*, 1988).

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó con 196 materiales de trigo harinero evaluados en Obregón, Estado de Sonora y en Toluca y Batán en el Estado de México. La siembra se realizó en invierno-primavera (1995-96) en Obregón y en el verano (1996) en Toluca y Batán. La densidad de población fue constante de 270 granos/m². La parcela se constituyó de dos surcos dobles de 3 m de longitud. No se realizó control químico de insectos y enfermedades con el propósito de evaluar el comportamiento de los materiales en condiciones bióticas naturales.

Se generaron 12 variables; dos se registraron directamente y diez en forma

indirecta, en cada localidad. Las variables directas fueron: 1) floración (F), días transcurridos de la siembra al momento de observar 50% de las anteras dehiscentes, 2) madurez fisiológica (MF), días transcurridos de la siembra al momento en que el pedúnculo de la espiga se tornó de un color amarillo oro.

Diez días después de la madurez fisiológica en cada localidad y unidad experimental se tomaron al azar 100 tallos arrancados al ras del suelo y secados en la estufa a 70 °C; antes de trillar el material se tomó el peso de la biomasa total (100BT:tallos+espigas); la muestra se trilló y pesó para obtener el peso de 100 espigas (100E). Después de la cosecha, el grano se secó durante tres días y se tomó el peso del peso del grano (RP), expresado en g/parcela. Del grano cosechado, se tomaron dos muestras de 1000 granos para determinar el peso de 1000 granos (2PMG). Con base en las anteriores variables se determinaron las diez adicionales: 3) índice de cosecha (IC)=100E/100BT; 4) biomasa, en t/ha (B)=[(RP + 100E) 4.5]/IC; 5) rendimiento de grano, en t/ha (R)=(B x IC); 6) espigas/m² (EM²)= B /(100BT/ 100); 7) peso de mil granos, en gramos (PMG)= ½ (2PMG); 8) granos/m² (GM²)=R/(PMG/100); 9) granos/espiga (G/E)=GM²/EM²; 10) índice de macollamiento (IM)=EM²/NGM², donde NGM²=número de granos por m²; 11) periodo de llenado de grano, en días (PLLG)=MF-F; y 12) tasa de llenado de grano, en kg/ha/día (TLLG)=R/PLLG.

Durante la estación de crecimiento del trigo, en la caseta meteorológica en Obregón, Toluca y Batán, se recopilaron los datos diarios de temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) y precipitación; la insolación sólo se registro en Obregón. Mediante fórmulas se calcularon las siguientes variables: 1) temperatura media, en °C (T_m)= ½(T_{máx} - T_{mín}); 2) radiación solar, en MJ/m²/día derivada de la ecuación de Hargreaves y Samani (1982) (R_s)=0,402(R_a)(T_d^{0.5}), donde R_a=radiación extraterrestre (mm/día) calculada con base en las tablas de Doorenbos y Pruitt (1975) y T_d=T_{máx} -T_{mín}.

La información para cada variable se analizó como un diseño de bloques com-

pletos al azar con tres repeticiones y tres localidades. La comparación de medias de las variables se realizó con base en la prueba de Tukey. Con el fin de detectar el grado de asociación entre los caracteres evaluados con el rendimiento, se realizó un análisis de correlación fenotípica.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza combinado de los experimentos en Obregón, Batán y Toluca presentó diferencias altamente significativas para localidades en las doce variables estudiadas; por esta razón no se presentan los cuadrados medios para localidades y del error. La relación entre la fenología y el clima permitió dilucidar las causas de las diferencias entre localidades en todas las variables estudiadas (Tabla 1).

Por efecto de ubicación geográfica, en relación con latitud, longitud y altitud, Obregón difiere de Batán en 8° 17' latitud norte, 11° 42' longitud oeste y 2180 m; y de Toluca en 8° 38' latitud norte, 10° 41' longitud oeste y 2620 m. Con base en la Ley de Hopkins (1978), se esperaría en Obregón un retraso en el crecimiento y desarrollo del trigo de 20 días, aproximadamente. De hecho, en Obregón, el periodo vegetativo-reproductivo fue de 17,9 y 21,8 días más largo en relación con Toluca y Batán, respectivamente; ambos valores estuvieron muy cercanos al valor estimado por la Ley de Hopkins (1978).

La siembra en Obregón en el invierno permitió que el desarrollo del periodo vegetativo-reproductivo ocurrieran en días cortos (10,40 a 11,22 h/día) a diferencia de los días largos en Toluca (13,19 a 12,73 h/día) y en Batán (13,32 a 12,81 h/día) por efecto de la siembra en verano (Tabla 2). Las diferencias en el fotoperíodo entre Batán y Toluca con relación a Obregón y las similitudes entre Obregón y Toluca, fueron ocasionadas por la influencia directa de la latitud y la estación del año. Son estas diferencias en el fotoperíodo entre Obregón y Toluca, las que han permitido al programa de trigo del CIMMYT durante ciclos sucesivos y por varias décadas, la selección de materiales con los genes

Ppd1 y *Ppd2* que otorgan la fotoinsensibilidad (Worland *et al*).

En Batán, Toluca y Obregón la floración ocurrió en 72, 77 y 92 días después de la siembra (DDS), respectivamente. Asimismo, la maduración fisiológica se presentó a los 118, 132 y 135 DDS en Batán, Obregón y Toluca, respectivamente. Se destaca Obregón por presentar el período más corto, con 37,3 días, diferente estadísticamente a Batán y Toluca que presentaron 45,6 y 58,0 días, respectivamente (Tabla 1).

Respecto a la radiación (Tabla 2), el trigo en Obregón recibió la menor radiación en el primero y segundo mes, y un mes antes de la floración (febrero, 92 DDS), pero presentó el mayor incremento (32,12%). En Batán, la situación fue contraria, el trigo recibió la mayor radiación en el primer mes, pero la tendencia fue a disminuir; la mayor disminución, de 30,16%, se presentó 15 días antes y 15 días después de la floración (agosto, 72 DDS). Por último, en Toluca, la radiación fue mayor en los cuatro primeros meses del ciclo vegetativo del trigo y mayor que en las otras dos localidades, con tendencia de disminuir gradualmente.

Obregón presentó el período vegetativo-reproductivo del trigo más largo (94,3 días); fue el tiempo más óptimo para el trigo durante el cual prevalecieron días cortos y temperatura medias óptimas y máximas altas, pero no letales para la formación de espiguillas por espiga. A pesar de que en esta localidad se presentó la menor radiación los primeros 60 días del cultivo, el fuerte incremento observado en preantesis satisfizo los requerimientos (demanda) y no fue limitativo para los procesos de fotosíntesis y producción de asimilados (fuente). El trigo en esta localidad presentó las temperaturas mínimas más bajas entre los 20 y 30 DDS, esto favoreció un mayor macollamiento efectivo (1,5); se obtuvo la mayor biomasa (15,09 t/ha) así como el mayor número de granos/m² (18 702) y peso de mil granos (37,4). El período vegetativo-reproductivo largo en Obregón permitió mayor relación fuente-demanda (biomasa-granos/m²); las temperaturas altas durante el período de llenado de grano, no obstante ser éste el más corto, favorecieron que se tuviera la

mayor tasa de llenado de grano (186,5 kg/ha/día), dos veces superior a la tasa de llenado de grano en Toluca y Batán, de 62,9 y 64,3 kg/ha/día, respectivamente (Tabla 1).

El limitado período vegetativo-reproductivo en Batán (72,5 DDS) así como la restricción provocada por la drástica reducción de la radiación en preantesis, fueron dos de las principales causas del menor rendimiento y componentes del rendimiento. En esta localidad el trigo no presentó macollamiento (0,9); tuvo el menor número de granos/m² (9940) y menor biomasa (7,82 t/ha); consecuentemente, todo lo anterior condicionó el menor rendimiento de grano (2,93 t/ha).

Toluca se caracterizó como un ambiente intermedio entre Obregón y Batán para la producción de trigo. Fue así que presentó un período vegetativo-reproductivo (76,4 DDS) cuatro días más largo que Batán, pero más corto que Obregón; se observó la mayor radiación en el período vegetativo-reproductivo.

Por efectos compensatorios de la relación fuente-demanda, en Obregón se presentaron las mayores correlaciones negativas entre los componentes del rendimiento; entre éstas sobresalieron: espigas/m² y granos/espiga ($r=-0,46$), peso del grano y granos/m² ($r=-0,55$), peso del grano y espigas/m² ($r=-0,40$), peso del grano y macollamiento ($r=-0,40$), granos/espiga y macollamiento ($r=-0,46$) y tasa de llenado de grano y período de llenado de grano ($r=-0,46$).

Con frecuencia se encuentran disminuciones en el peso del grano al incrementar el número de granos y de hecho la correlación fue negativa en Obregón, pero esta fue positiva en Toluca ($r=0,49$) y baja en Batán ($r=0,01$). Lo anterior confirma que el tamaño del grano aumentó en Toluca y por lo menos permaneció constante en Batán. Aunado a lo anterior, la correlación involucrando las tres localidades, fue positiva y significativa ($r=0,51$). El número de granos/m², al pasar de 9940 y 13 232 en Batán y Toluca, respectivamente, a 18 702 en Obregón, con sorpresa se encontró que el peso del grano aumentó de

27,4 y 29,4 en Toluca y Batán, respectivamente, a 37,4 gramos en Obregón.

Solamente dos resultados como los que aquí se encontraron aparecen en la literatura, las investigaciones en trigo de Wych y Stuthman (1983) y Perry y D'Antuono (1989). La amplitud para el peso de mil granos en Obregón fue de 27,54-46,88 g; esta variación permite deducir que por selección continua por tamaño y largo del grano, se ha incorporado gradualmente a los materiales modernos de trigo del CIMMYT mayor peso del grano.

CONCLUSIONES

El mayor período vegetativo-reproductivo en Obregón le permitió al trigo en esta localidad obtener una mayor fuente (biomasa) y demanda (granos/m²); además el menor período de llenado de grano y alta tasa de llenado que permitieron el mayor rendimiento.

El menor período vegetativo-reproductivo en Toluca y Batán determinó la menor relación fuente-demanda. Con base en el rendimiento y sus componentes, Batán se calificó como un ambiente limitativo y Toluca como uno intermedio para la producción del trigo.

Las variables con mayor asociación en el rendimiento fueron granos/m², biomasa y tasa de llenado de grano. Se observó una relación positiva entre el número de granos/m² y el peso del grano, característica no muy común en trigo.

TABLA 1. Promedio de rendimiento, sus componentes y variables relacionadas y correlaciones fenotípicas con rendimiento en Obregón (CO), Toluca (T) y Batán (B).

Variable	CO	r	T	r	B	r
Rendimiento, t/ha	6,96a	1,00	3,65b	1,00	2,93c	1,00
Índice de cosecha	0,46a	0,39**	0,35c	0,65	0,37b	0,49**
Biomasa, t/ha	15,09a	0,69**	10,34b	0,84	7,82c	0,85**
Espigas/m ²	403,4a	0,40**	288,1b	0,39	266,3c	0,47**
Granos/m ²	18 702a	0,71	13 232b	0,87**	9940c	0,77**
Granos / espiga	46,7b	0,35	47,1a	0,41	37,6c	0,36
Peso de mil granos, g	37,4a	0,19	27,4c	0,64**	29,4bc	0,65**
PLLG, días	37,3c	0,18	58,0a	0,09	45,6b	0,35
TLLG, kg/ha/día	186,5a	0,77**	62,9c	0,97**	64,3b	0,83**
Macollamiento	1,5a	0,40**	1,1b	0,39	0,9c	0,47**
Floración, días	94,3a	0,11	76,4b	-0,19	72,5c	0,01
Madurez fisiológica, días	131,6b	0,19	134,4a	-0,18	118,1c	0,25

r = coeficiente de correlación fenotípica. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales en el sentido horizontal. **, significativo al 0,01 de probabilidad.

TABLA 2 Duración astronómica de la insolación (h/día), radiación solar (MJ/m/día) en Obregón (CO), Batán (B) y Toluca (T).

Elemento de clima		MESES				
		Dic Jul	Ene Ags	Feb Sep	Mar Oct	Abr ¹ Nov ²
Insolación	CO	10,40	10,58 (+1,7)	11,22 (+6,1)	11,97 (+6,7)	12,82 (+7,1)
	B	13,32	13,22 (-0,7)	12,81 (-3,0)	12,26 (-5,0)	11,70 (-4,8)
	T	13,19	13,10 (-0,7)	12,73 (-2,9)	12,24 (-4,0)	11,74 (-4,3)
Radiación	CO	14,30	16,50 (+15,4)	21,80 (32,1)	22,60 (+3,7)	26,10 (+15,5)
	B	26,40	24,60 (-7,3)	18,90 (-30,2)	16,50 (-14,6)	15,50 (-6,5)
	T	26,30	25,50 (-3,1)	24,90 (-2,4)	23,40 (-6,4)	20,40 (-4,7)

1 = Dic-Abr, estación de crecimiento en Obregón. 2= Jul-Nov, estación de crecimiento en Batán y Toluca.

Entre paréntesis : Incremento o decremento con relación al mes anterior.

BIBLIOGRAFIA

- BORLAUG, N. E. Wheat, rust, and people. *Phytopathology* 55 :1088-1098. 1968.
- BRAUN, H. J., PFEIFFER, H. W. and POLLMER, G. G. Environments for selecting widely adapted spring wheat. *Crop Sci.* 32:1420-1427.1992.
- DOORENBOS, J. and PRUIT, W.O Guidelines por Predictin Crop Water Requeriment. FAO Irrigation and Drainage paper, No. 24. FAO, Roma. 1975. pp 40-45.
- FISCHER, R. A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*. 105:447-461.1985.
- HARGREAVES, G.H. and SAMANI, A. Estimating potential evapotranspiration. *J. Irrigation Drain. Div. ASCE*, 108: 223-230. 1982.
- HOPKINS, P. J. Relaciones Agua-Suelo-Planta; Una Síntesis Moderna. Edutex. México, D. F. 1978. pp 12-18.
- PERRY, M. W., and D'ANTUONO, M. F. Yield improvement and associate characteristics of some Australian spring wheat cultivars between 1960 and 1982. *Aust. J. Agric. Res.* 40 :457-472. 1989.
- SAYRE, K.D., RAJARAM, S. and FISCHER, R. A. Yield potential in short bread wheat varieties. *Aust. J. Agric. Res.* 40 :457-472. 1997.
- WORLAND, A.J., PETROVIC, S and LAW, C. N. Flowering in wheat. *Plant Breeding*. 100 :247-251. 1988.
- WYCH, R.D., and STUTHMAN, D. Genetic improvement in Minnesota oat cultivars released. *Crop Sci.* 23 :879-881. 1983.