

# PREDICCIÓN DEL MOMENTO DE ESPIGAZÓN: UNA HERRAMIENTA PARA PLANIFICAR LAS SIEMBRAS Y DIVERSIFICAR EL RIESGO DE OCURRENCIA DE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA



Ing. Agr. (PhD) Andrés Berger<sup>1</sup>  
 Ing. Agr. (MSc) Martha Díaz de Ackermann<sup>1</sup>  
 Ing. Agr. (PhD) Marina Castro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa Nacional de Cultivos de Secano

<sup>2</sup> Evaluación de Cultivares

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las distintas etapas fenológicas del cultivo de trigo y cebada es fundamental para el manejo de los distintos factores bióticos y abióticos que los afectan. Conocer el momento de espigazón es muy relevante para posicionar correctamente el período en torno a la floración y el periodo de llenado de grano dentro de la estación de crecimiento.

Es muy relevante además para el manejo de enfermedades como la fusariosis de la espiga. El objetivo de este trabajo es presentar una herramienta que permita estimar la ocurrencia del momento de espigazón, ayudando en la planificación de medidas preventivas de control de fusariosis y diversificación de los momentos de espigazón.

## IMPORTANCIA DEL FOTOPERÍODO, TIEMPO TÉRMICO Y VERNALIZACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE LA ESPIGAZÓN

El momento de espigazón es de gran importancia para determinar el rendimiento y la calidad del grano en trigo

y en cebada, ya sea porque su adelanto expone al cultivo a riesgos de heladas o porque su retraso ubica el periodo de llenado de grano en condiciones desfavorables de elevadas temperaturas en noviembre-diciembre. En los cereales de invierno, el momento de espigazón está regulado por fotoperíodo, tiempo térmico y vernalización. Los cultivares de trigo y cebada sembrados en Uruguay son de hábito primaveral, con bajo o nulo requerimiento de vernalización y diferente grado de sensibilidad al fotoperíodo (German *et al.*, 1995).

## IMPORTANCIA DE LA DIVERSIFICACIÓN DE LOS MOMENTOS DE ESPIGAZÓN/FLORACIÓN PARA EVITAR CONDICIONES QUE PREDISPONGAN AL DESARROLLO DE FUSARIOSIS DE LA ESPIGA

Ya en un estudio realizado por Tavella *et al.*, 1979, para la serie de años 1915/77, se mostró que en cinco años la temperatura media del mes de octubre, cuando espigan la mayoría de los trigos en el país, presentó valores cercanos a los del año 1977 y en cuatro de esos años, las variables que caracterizan la humedad fueron superiores a las normales. Esta información, junto con los

reportes de ocurrencia de la enfermedad de Boerger y Boasso, señalaban la ocurrencia de epifitias de 1 año en 16. Estudios posteriores señalaron la ocurrencia de 1 año de cada 11. Finalmente, en 2002 un estudio de la serie de años 1915/2001 demuestra la presencia de la enfermedad en forma importante en 1 año de cada 8, por lo cual la frecuencia ha ido aumentando.

En la epifitia de 1977 se observó que en general las siembras tempranas y las tardías fueron menos afectadas por la enfermedad que la siembra normal. Cuando se relacionaron las variables climáticas (temperatura media del aire, precipitaciones y humedad relativa) promedios de los 15 días posteriores a la espigazón se observó que en las siembras tempranas al momento de espigar no tuvieron ni temperatura ni humedad adecuada para el desarrollo de la enfermedad.

En la siembra tardía tuvieron temperatura pero no humedad y en la normal ambas variables fueron favorables. Sin embargo los cultivares que espigaron más tarde por su ciclo tuvieron mayor infección que en siembra temprana. Sobre la base de esas observaciones se relacionaron las fechas de siembra y las fechas de espigazón. Las regresiones fueron muy significativas y el  $R^2$  osciló entre 0.92 y 0.97 para los distintos cultivares, con la finalidad de explorar el escape a la enfermedad.

En 2001 las condiciones fueron muy favorables al desarrollo de la enfermedad desde la tercera década de setiembre hasta la última década de octubre. Cuando se relacionaron las variables climáticas y fecha de espigazón, no se observó una clara relación entre espigazón – condiciones climáticas – enfermedad. No se visualizaron claramente notorias diferencias entre las épocas de siembra, porque el periodo con condiciones favorables a la enfermedad fue muy extenso.

Aplicando el modelo de Moschini y Fortugno que combina números de periodos de dos días con lluvia y humedad relativa mayor a 80% el primer día y a 78% el segundo, acumulación diaria de residuales de temperatura extrema, número de días con precipitaciones y humedad relativa mayor a 83%, se encontró que la incidencia de la fusariosis fue mayor de 80% para trigos que espigaron entre la tercera década de setiembre y la primera de octubre y superó a la incidencia del año 1990, 1993 y 1996.

Las regresiones entre fecha de siembra y fecha de espigazón fueron significativas, pero más bajas y el  $R^2$  osciló entre 0.66 y 0.86 para los distintos cultivares, posiblemente porque solo se consideraron los tres últimos años. Lo distinto ahora del espectro varietal respecto al de las décadas anteriores es que lo que llamamos ciclo intermedio son más variables en su largo de ciclo. Si sembramos en una misma fecha espigan en fechas diferentes, pero si sembramos en fechas diferentes podemos concentrar la espigazón. Por estos motivos es que recomendamos diversificar la fecha de espigazón (floración) a través de la fecha de siembra considerando el ciclo del cultivar.

## MODELO DE ESTIMACIÓN DE ESPIGAZÓN

En la mayoría de los cultivares de trigo y cebada, la tasa de desarrollo hasta espigazón (*días a espigazón*) aumenta linealmente con el aumento de la temperatura desde una temperatura base hasta un óptimo en que la espigazón es más rápida, y decrece en temperaturas supra-óptimas. Sin embargo, sólo en los cultivares sensibles al fotoperíodo, la espigazón es retrasada mientras los días sean más cortos que el fotoperíodo crítico ( $P_c$ ) (Roberts, *et al.*, 1997). En estos casos, la tasa de desarrollo hasta espigazón depende de temperatura y fotoperíodo para días más cortos que  $P_c$  y sólo de temperatura para días más largos que  $P_c$ .

Durante el desarrollo hasta espigazón, normalmente se distinguen tres fases: 1) una fase pre inductiva en que las plantas son insensibles al fotoperíodo, denominada fase juvenil; 2) una fase inductiva sensible que determina el momento de espigazón; y 3) una fase insensible al fotoperíodo (Summerfield, *et al.*, 1997), o de menor sensibilidad (Slafer, *et al.*, 1996).

Existen modelos simples, como el modelo RodMod (Watkinson *et al.*, 1994) que integran una serie de ecuaciones sencillas teniendo en cuenta el efecto de la **temperatura** (dentro de un rango de temperaturas óptimas para el crecimiento del cultivo), y del **fotoperíodo** en el largo del ciclo a espigazón, considerándolo como un todo y estimando parámetros con significado biológico (Lawn, *et al.*, 1995; Roberts, *et al.*, 1997).



Para el ajuste del modelo se utilizaron datos de experimentos de campo de trigo realizados en las localidades Young (32°43' S, 57°39' W) y La Estanzuela (34°20' S, 57°41' W), entre los años 1991 y 2008, en épocas de siembra tempranas (abril-mayo), normales (junio-julio) y tardías (agosto-setiembre).

Estos datos fueron generados por la Evaluación Nacional de Cultivares (Convenio INASE-INIA). Se seleccionaron todos los cultivares que contaran con al menos 11 registros emergencia-espigazón.

Los datos de temperatura media diaria provienen de la estación meteorológica de INIA La Estanzuela y de la estación meteorológica de la Dirección Nacional de Meteorología-Young, ambas muy cercanas a los sitios en los que se ubicaron los experimentos. Los datos de fotoperíodo diarios fueron generados para ambas localidades en base a su latitud.

### CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo fue ajustado para 77 cultivares de cebada y 145 cultivares de trigo de los cuales 93 son clasificados como de ciclo intermedio y 52 son clasificados como de ciclo largo. El ajuste del modelo fue en general muy bueno.

Normalmente los cultivares de ciclo largo presentan alta sensibilidad al fotoperíodo, mientras que los cultivares de ciclo intermedio presentan menor sensibilidad a fotoperíodo. Aunque para estos últimos se pueden encontrar casos en prácticamente todo el rango observado de sensibilidad a fotoperíodo.

Los peores ajustes se observaron en cultivares con pocos registros y escaso rango de dispersión en cuanto a épocas de siembra y localidades. Debido a que sólo se considera el rango de temperaturas de crecimiento óptimo, existen dos situaciones en que el modelo puede realizar estimaciones erróneas: 1) Cuando las temperaturas ocurridas durante el ciclo a espigazón superan la temperatura óptima de crecimiento (por ejemplo temperaturas mayores a 28°C), 2) Cuando las mismas son inferiores a la temperatura base (Lawn *et al.*, 1995; Watkinson *et al.*, 1994).

No obstante para las épocas de siembra habituales de Uruguay (mayo-agosto) es poco probable la ocurrencia de períodos prolongados con estas temperaturas medias diarias (menos del 2% de los días) durante el período de desarrollo del cultivo hasta espigazón. Por otra parte los cultivares utilizados en este trabajo tienen bajo o nulo requerimiento de vernalización.

Por estos motivos es probable que los desvíos entre valores observados y simulados sean explicados principalmente por otros factores, entre ellos factores de manejo del cultivo en cada experimento, por ejemplo fertilización nitrogenada.

Seleccione:

Chacra	Fecha de emergencia (d/m)	Fecha de espigazón estimada (50%)
1	15/6	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Localidad: La Estanzuela

Cultivar: LE 2331 (INIA DON ALBERTO)

Calcular      Borrar

Figura 1- Estimación de fecha de espigazón

### PREDICCIÓN DEL MOMENTO DE ESPIGAZÓN

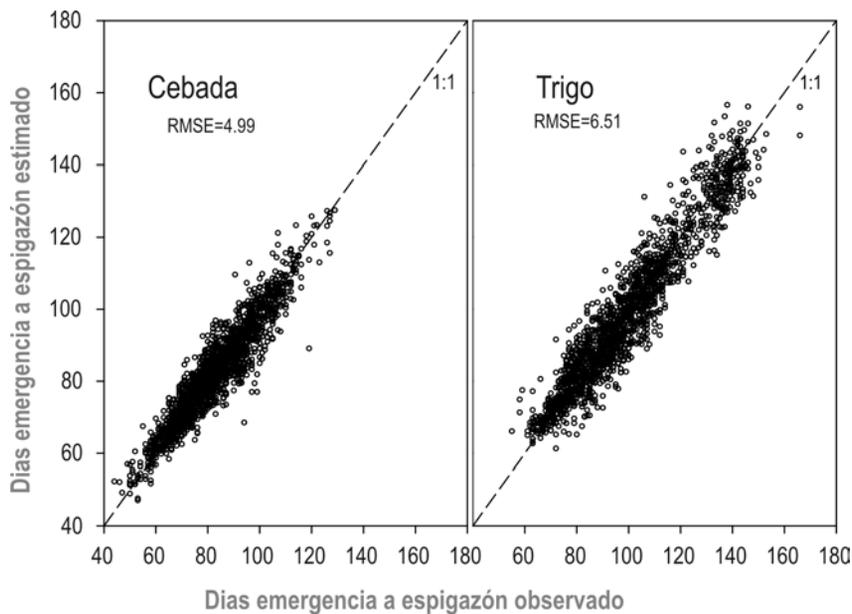
Para facilitar el uso de los resultados en la práctica, los resultados se publicaron en la siguiente dirección web: ([http://www.inia.org.uy/estaciones/la\\_estanzuela/actividades/documentos/trigo.htm](http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/actividades/documentos/trigo.htm)).

Aquí se encuentra un formulario muy simple con instrucciones. Se debe seleccionar la localidad, el cultivar y escribir la fecha de emergencia (aproximadamente 8-15 días o 140 grados día base 2°C, posterior a la siembra). Presionar el botón Calcular!, y serán calculadas en la columna derecha las correspondientes fechas de espigazón.

### ERROR ESPERABLE EN LAS ESTIMACIONES

El error promedio observado en la estimación de ciclo a floración para al menos 11 fechas de siembra testeadas es de 5 días, y el error máximo observado es de 14 días (Figura 2). Esto indica que el modelo puede ser utilizado para estimar con bastante certeza en que semana ocurrirá el momento de espigazón. De ningún modo es esperable que vaya a predecir la fecha exacta, pues la observación del momento de espigazón en si misma está sujeta a error.

Para el cálculo de la fecha de espigazón se utilizan promedios de las temperaturas históricas para cada localidad.



**Figura 2** - Valores observados vs. estimados para trigo y cebada indicando los niveles de error esperables en las estimaciones de ciclo a espigazón.

Esto implica que cuando un año es consistentemente más frío o más caliente de lo normal, las fechas estimadas por el modelo estarán adelantadas o retrasadas respectivamente en relación a las que realmente ocurrirán. El error en estos casos puede llegar a ser de menos de una semana, y es esperable que el ranking entre cultivares no cambie significativamente. Estimaciones realizadas para fechas de siembra considerablemente fuera de lo normal, por ejemplo siembras de verano para multiplicación de semilla, pueden tener errores importantes también.

Este modelo es útil para la planificación de las siembras y para el testeado de cómo se comportará un cultivar en términos generales, no es recomendado sin embargo para la estimación del **momento exacto de espigazón**, ya que las temperaturas reales ocurridas no son incluidas en el cálculo.

## REFERENCIAS

DIAZ DE ACKERMANN, M. 1989. Relaciones de fecha de siembra vs. fecha de espigazón como alternativa para disminuir riesgos frente a la fusariosis de la espiga. Jornada de Cultivos de Invierno 1989. Resultados Experimentales Nro.22

DIAZ DE ACKERMANN, M. 2002. Influencia de las condiciones climáticas y fecha de siembra en el desarrollo de fusariosis de la espiga en trigo. In Seminario de discusión técnica: Fusariosis de la espiga del trigo y cebada. 20 de junio de 2002. Documento online Nro. 037. p. 6. <http://www.inia.org.uy/online/site/identificar.php?idPub=701>

GERMAN, S.; ROMERO, R.; TOJO, C.. 1995. Control de la floración en cebada en Uruguay: respuesta a temperatura y fotoperíodo. En: Mesa Nacional de Entidades de Cebada Cervecera. VI Reunión Nacional de investigadores en cebada, pp 122-127. Latu, Montevideo.

HOFFMAN, E.; ERNST, O.; BENITEZ, A.; BORGHI, E. 2003. Fecha de floración: efecto de la elección de variedades y su época de siembra. E.E.M.A.C. Cangüé N°. Especial 24. pp. 20-22

LAWN, R.J.; SUMMERFIELD, R.J.; ELLIS, R.H.; QI, A.; ROBERTS, E.H.; CHAY, P.M.; BROUWER, J.B.; ROSE, J.L.; YEATES, S.J. 1995. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. VI. Applications in crop improvement. *Experimental agriculture*, 31: 89-108.

ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J.; ELLIS, R.H.; CRAUFURD, P.Q.; WHEELER, T.R.. 1997. The induction of flowering. En: WIEN, H.C. (ed.). *The physiology of vegetable crops*. pp 69-99. CAB International.

SLAFER, G.A.; RAWSON, H.M.. 1996. Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. *Field crops research*, 46: 1-13.

SUMMERFIELD, R.J.; ELLIS, R.H.; CRAUFURD, P.Q. 1997. Phenological adaptation to cropping environment. From evaluation descriptors of times to flowering to the genetic characterization of flowering responses to photoperiod and temperature. En: TIGERSTEDT, P.M.A. (ed.) *Adaptation in plant breeding* pp 303-308. Kluwer academic publishers, The Netherlands.

TAVELLA, C.M.; GONNET, M.; DÍAZ, MARTHA. 1979. El golpe blanco del trigo. *Revista AIA* 13:3-6.

WATKINSON, A.R.; LAWN, R.J.; ELLIS, R.H.; QI, A.; SUMMERFIELD, R.J. 1994. A computer program for characterizing genotype variation in flowering responses to photoperiod and temperature. CSIRO IPGRI, University of Reading, UK.