

LLENADO Y SECADO DEL GRANO EN HIBRIDOS DE MAÍZ LIBERADOS ENTRE 1980 Y 2016: EFECTOS DE LA FECHA DE SIEMBRA

Yésica D. Chazarreta^{1*}, Juan I. Amas², Alfredo G. Cirilo³ y María E. Otegui^{2,3,4}

Palabras clave: *Zea mays* L., peso individual del grano, humedad del grano, interacción genotipo × ambiente.

El atraso en la fecha de siembra (FS) produce cambios en los parámetros que caracterizan las dinámicas de llenado y secado de los granos. Se destaca el mayor porcentaje de humedad del grano en madurez fisiológica (R6) en siembras tardías. El mejoramiento genético reciente no produjo modificaciones en los determinantes del peso de grano (PG) ni en el ritmo de secado en épocas de siembra contrastantes.

INTRODUCCION

La acumulación de biomasa en los granos de maíz comienza luego de la fecundación de los ovarios y progresa siguiendo un patrón sigmoideo en el cual se distinguen tres etapas: (i) una fase de lento crecimiento (*lag*), donde se establece el número de células endospermáticas y amiloplastos, (ii) una fase de acumulación activa de biomasa denominada *llenado efectivo del grano* y (iii) una etapa de maduración, donde los granos alcanzan su máximo peso seco y se establece el PG final (Bewley y Black, 1985). Las restricciones al crecimiento durante la etapa de llenado efectivo del grano se traducen en mermas equivalentes del PG y, consecuentemente, del rendimiento del cultivo (Borrás *et al.*, 2004). Esta condición es particularmente crítica para los maíces de siembra tardía (Cirilo y Andrade, 1994) ya que durante el llenado de los granos enfrentan condiciones declinantes de (i) radiación solar, que afectan negativamente la síntesis de asimilados (Borrás *et al.*, 2004), y (ii) temperatura, con su efecto negativo sobre la eficiencia de uso de la radiación (Andrade *et al.*, 1993) y la removilización de reservas (Kiniry y Otegui, 2000).

El conocimiento del ritmo de secado del grano y de la duración de dicho período resulta fundamental para los planteos productivos. Una mayor tasa de secado y un período más breve para su ocurrencia reducirían los tiempos de cosecha y los costos económicos del secado adicional. Este aspecto es crítico en ambientes de alta latitud y/o

en fechas de siembra tardías, ya que el secado de los granos explora condiciones menos favorables de temperatura (baja) y humedad (alta). Actualmente, se desconoce el impacto del mejoramiento genético sobre los determinantes del secado del grano, ya que no ha existido una restricción para alcanzar la humedad comercial de cosecha en las tradicionales siembras tempranas. Resultaría de gran interés comprender las respuestas en las dinámicas de llenado y secado de los granos con el atraso en la fecha de siembra, considerando que más del 50% de la superficie de maíz cultivado en Argentina corresponde a maíces tardíos.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar los patrones de llenado y secado de los granos en un conjunto de híbridos comerciales de maíz liberados al mercado argentino entre 1980 y 2016 al ser cultivados en FS contrastantes.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos fueron llevados a cabo durante las campañas agrícolas 2016/2017 y 2017/2018 en la EEA INTA Pergamino. Se utilizaron seis híbridos simples de maíz de la compañía semillera Monsanto liberados al mercado argentino entre 1980 y 2016 (Tabla 1). En cada campaña, se utilizaron dos FS: una temprana (FS1: 31-Oct para 2016/17 y 18-Oct para 2017/18) y una tardía (FS2: 28-Dic para 2016/17 y 15-Dic para 2017/18). Dentro de cada FS, los genotipos estuvieron dispuestos en un diseño en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Se utilizó una densidad de 9 plantas m⁻² en ambas FS. Las par-

1- UNNOBA 2- CONICET 3- EEA INTA Pergamino 4- FAUBA

*ydzchazarreta@comunidad.unnoba.edu.ar

Diciembre 2018, Argentina

celas crecieron bajo condiciones de alta disponibilidad de nitrógeno (200 kg de N ha⁻¹ agregados al cultivo entre siembra y V8) y un régimen hídrico de riego complementario. Los experimentos fueron mantenidos libres de enfermedades, malezas y plagas mediante los controles adecuados.

En cada parcela se marcaron entre diez y trece plantas en floración femenina (R1). Las espigas apicales de dichas plantas fueron cosechadas sucesivamente a partir de los veinte días desde R1 con una frecuencia de siete (pre-madurez fisiológica) o quince días (post-madurez fisiológica). En cada muestreo, se tomaron quince granos de la porción media de cada espiga y se pesaron inmediatamente para determinar su peso fresco. Luego, se colocaron en una estufa a 62°C hasta verificar constancia en peso y se determinó el peso seco. Durante las primeras cinco semanas este procedimiento se realizó en una cámara húmeda saturada con vapor de agua.

Tabla 1. Híbridos de maíz utilizados en dos experimentos (2016/2017 y 2017/2018) en dos fechas de siembra (FS).

Híbrido	Año de liberación	2016/2017		2017/2018	
		FS1	FS2	FS1	FS2
DK 2F10	1980		x	x	x
DK 664	1993	x		x	x
DK 190	2002	x	x	x	x
DK 72-10	2012	x	x	x	x
DK 70-20	2016	x	x	x	x
DK 73-20	2016	x	x	x	x

Se ajustó un modelo bilineal *plateau* a la evolución del PG luego de R1 para cada combinación de híbrido y FS, lo que permitió calcular la tasa de llenado (en mg día⁻¹), la duración del período de llenado del grano (en días entre R1 y R6) y el PG-MÁX (en mg). Se ajustó también un modelo bilineal a la evolución de la humedad del grano en función de los días desde R1 para determinar las tasas inicial (b_1) y final (b_2) de secado (en % día⁻¹) y el punto en que ocurre el cambio (x_1) entre dichas tasas (en días desde R1). Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de la FS, el híbrido y su interacción en cada campaña.

RESULTADOS

Las condiciones meteorológicas difirieron marcadamente entre las campañas (Figura 1). En 2016/17, las precipitaciones durante el llenado del grano fueron de 238 mm para la FS1 y de 329,6

mm para la FS2, mientras que, para la campaña 2017/18 las precipitaciones fueron de 96,1 mm durante el llenado de la FS1 y de 54,6 mm, respectivamente. En ambas campañas, el atraso en la FS expuso al cultivo a menor radiación y temperatura durante el llenado y el secado de los granos, verificándose luego de madurez fisiológica un incremento leve en la humedad relativa (datos no mostrados).

El rango de PG durante la primera campaña estuvo comprendido entre 228 y 281 mg. El atraso en la FS produjo una disminución del 14,6% en esta variable, pero los híbridos no difirieron entre sí en su PG. Durante la segunda campaña el rango de PG explorado se incrementó (227-291 mg; Tabla 2), pero el rasgo distintivo fue la escasa diferencia en PG entre FSs, que incluso registró un leve aumento (+8%) para FS2 respecto a FS1 (Figura 2b). Las variaciones en PG se explicaron a través de los cambios registrados en sus determinantes fisiológicos (tasa y duración del llenado del grano). Así, en la primera campaña se verificó una caída del 26% en la tasa de llenado de grano al atrasar la FS (Figura 2a y Tabla 2), mientras que la segunda campaña estuvo caracterizada por una compensación entre ambos determinantes fisiológicos (tasa de llenado 31% superior para FS1 y duración del llenado 39% superior para FS2). En cuanto a los híbridos, durante la primera campaña difirieron en la duración pero sí en la tasa de llenado (DK 70-20 > resto). En la segunda campaña no hubieron diferencias genotípicas para los determinantes fisiológicos del llenado del grano, aunque el DK 664 presentó menor PG que el resto de los híbridos evaluados, los cuales no difirieron entre sí para esta variable ($p < 0,01$).

La evolución de la humedad porcentual del grano luego de la floración pudo ser descrita por un modelo bilineal, caracterizando el proceso de secado a través de dos etapas: una inicial (previa a la madurez fisiológica) y una etapa final (post madurez fisiológica). La tasa de secado inicial (b_1) fue mayor, en términos absolutos, respecto a la tasa de secado final (b_2). Para la campaña 2016/2017, el atraso en la siembra hacia fin de diciembre no afectó b_1 ni el punto de quiebre entre tasas de secado (x_1). Sin embargo, se observó una reducción del 29% en b_2 ($p < 0,05$). Los híbridos no difirieron entre sí para ninguna de las variables mencionadas (Tabla 2, Figura 2a). En la campaña 2017/2018, el atraso en la FS hacia mediados de diciembre produjo una reducción del 36,2% en b_1 , un retraso en la ocurrencia del punto de quiebre (50 días en la FS1, 59 días en la FS2) y una reducción del 38% en b_2 . Los híbridos no difirieron en las tasas de secado inicial ni final, mientras que

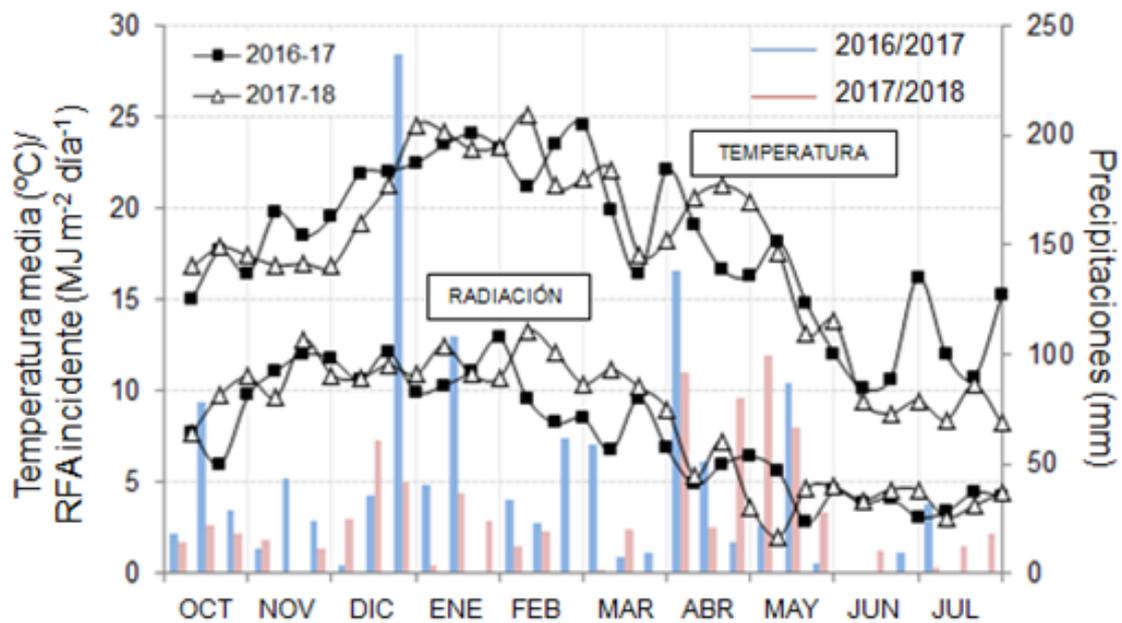


Figura 1. Evolución de la temperatura media del aire, la radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente y las precipitaciones durante el período de los experimentos.

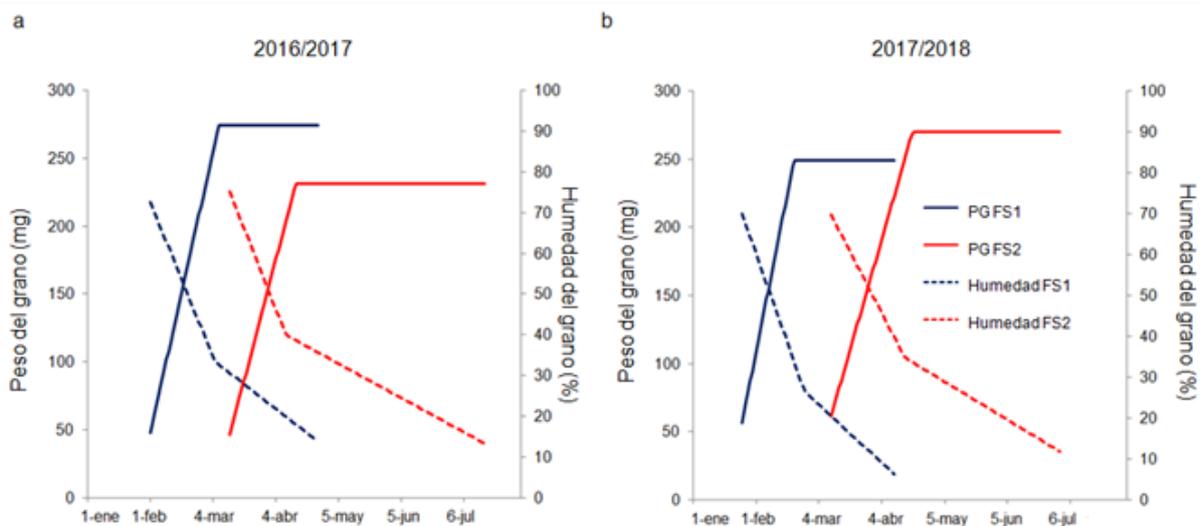


Figura 2. Evolución del peso (PG) y la humedad de los granos en función de los días calendario para un conjunto de híbridos de maíz cultivados en fechas de siembra temprana y tardía durante las campañas (a) 2016/2017 y (b) 2017/2018. Los ajustes de PG y humedad corresponden al promedio de todos los híbridos en cada FS.

para el punto de quiebre se verificó interacción FS × híbrido. Los híbridos DK 2F10, DK 664 y DK 190 adelantaron el punto de quiebre con el atraso en la FS (-31%, -23% y -29% respectivamente; Tabla 2, Figura 2b). Un aspecto sobresaliente de las dinámicas descritas fue el mayor porcentaje de humedad a madurez fisiológica registrado para las FS2 (41%) respecto a las FS1 (30%).

CONCLUSIONES

El mejoramiento genético local durante las últimas cuatro décadas no produjo cambios significativos en el PG, sus determinantes fisiológicos ni en el ritmo de secado de los granos en ninguno de los ambientes evaluados. Esto sugiere que los esfuerzos del mismo, centrados en las fechas de

Diciembre 2018, Argentina

Tabla 2. Variables descriptivas del llenado y secado del grano para un conjunto de híbridos comerciales de maíz cultivados en dos campañas agrícolas y dos fechas de siembra (FS).

Campaña	Híbrido	Fecha de silking		PG _{MAX}		b ₀ (mg día ⁻¹) ¹		x ₀ (días) ²		b ₁ (% día ⁻¹) ³		x ₁ (días) ⁴		b ₂ (% día ⁻¹) ⁵	
		FS1	FS2	FS1	FS2	FS1	FS2	FS1	FS2	FS1	FS2	FS1	FS2	FS1	FS2
2016/2017	DK 2F10	-	27-feb	-	223	-	6,09	-	51	-	-1,44	-	46	-	-0,24
	DK 664	10-ene	-	269	-	6,82	-	55	-	-1,09	-	56	-	-0,51	-
	DK 190	14-ene	27-feb	276	227	7,10	5,50	53	57	-1,18	-1,37	52	51	-0,38	-0,28
	DK 72-10	13-ene	26-feb	282	252	7,19	5,62	53	61	-1,31	-1,35	50	51	-0,49	-0,27
	DK 70-20	12-ene	26-feb	264	233	8,29	5,66	49	57	-1,39	-1,03	53	67	-0,27	-0,21
	DK 73-20	12-ene	26-feb	283	231	7,10	5,12	53	59	-1,14	-1,08	55	60	-0,38	-0,22
2017/2018	DK 2F10	07-ene	19-feb	253	275	7,86	5,36	47	58	-1,76	-0,78	44	64	-0,45	-0,23
	DK 664	04-ene	14-feb	217	256	8,29	4,75	44	62	-1,58	-0,91	47	61	-0,47	-0,26
	DK 190	06-ene	19-feb	269	272	6,96	5,56	47	61	-1,38	-0,91	47	67	-0,57	-0,27
	DK 72-10	03-ene	17-feb	253	274	7,86	5,33	47	62	-1,53	-1,05	49	55	-0,56	-0,31
	DK 70-20	07-ene	19-feb	253	268	7,14	5,21	48	58	-1,35	-1,08	56	51	-0,29	-0,30
	DK 73-20	05-ene	18-feb	258	291	7,71	5,32	46	65	-1,37	-1,00	55	54	-0,38	-0,31
2016/2017	FS			**6		**		ns		ns		ns		*	
	Híbrido (H)			ns		*		ns		ns		ns		ns	
	FS × H			ns		ns		ns		ns		ns		ns	
2017/2018	FS			*		*		**		**		*		**	
	Híbrido (H)			**		ns		ns		ns		ns		ns	
	FS × H			ns		ns		ns		**		**		ns	

¹ b₀ = tasa de llenado; ² x₀ = duración del llenado del grano; ³ b₁ = tasa de secado inicial; ⁴ x₁ = punto de quiebre; ⁵ b₂ = tasa de secado final; ⁶ Prueba de F significativa para *** p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05; ns: no significativa.

siembra tempranas, no han atendido cuestiones críticas relacionadas con el atraso en la FS. La diferencia en PG_{MAX} entre fechas de siembra a través de años sería atribuible al adelantamiento a la primera quincena de diciembre de la siembra de FS2 en la segunda campaña, que evitó la penalización del PG que normalmente se espera para siembras posteriores (Mercau y Otegui, 2014). Este efecto, sumado a un régimen hídrico menos favorable para la FS1, explicaría las diferencias mencionadas en PG entre años. Las diferencias en porcentaje de humedad a madurez fisiológica (FS2>FS1) sugieren una finalización anticipada del llenado de grano producto de una limitación por fuente en las siembras tardías.

FINANCIAMIENTO

Los experimentos fueron financiados con fondos FONCyT PICT 2016-1504 e INTA PNCyO-1127042.

REFERENCIAS

- Andrade, F.H., Uhart, S.A., Cirilo, A.G. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Res.* 32:17-25.
- Bewley, J.D., Black, M. 1985. *Seeds: Physiology of development and germination.* Plenum, New York.
- Borrás, L., Slafer, G.A., Otegui, M.E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research* 86:131-146.
- Cirilo, A.G., Andrade, F.H. 1994. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *CropSci.* 34:1039-1043.
- Kiniry, J.R., Otegui, M.E. 2000. Processes affecting maize grain yield potential in temperate conditions. En: Otegui, M.E. y Slafer, G.A. (eds). *Physiological bases for maize improvement.* Food Products Press, The Haworth Press. pp 31-46.
- Mercau, J.L., Otegui, M.E. 2014. A modeling approach to explore water management strategies for late-sown maize and double-cropped wheat-maize in the rainfed pampas region of Argentina. *Advances in Agricultural Systems Modeling.* 5: 351-373. <<



DECARGAR ARTÍCULO