

Kellogg's

GROW WITH US



Facultad de Ciencias Agrarias
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO



Maíz Flint: Producción sustentable y calidad de grano

Editado por Lucas Borrás



Maíz Flint: Producción sustentable y calidad de grano

Editado por Lucas Borrás

Kellogg's
GROW WITH US

 **DACSA**
GROUP


Facultad de Ciencias Agrarias
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

Contenido

Prefacio	5
<i>Lucas Borrás.</i>	
Capítulo 1:	
La relevancia de la sustentabilidad y el suministro responsable para Kellogg	7
<i>Dave Fitzgerald.</i>	
Capítulo 2:	
Requisitos para importación en Europa: Caso de maíz flint	13
<i>Francisco Martí Ribes y Juan Espejo.</i>	
Capítulo 3:	
Color y concentración de carotenoides de los granos del maíz Argentino	21
<i>Ezequiel Saenz, Lucas Borrás y José Gerde.</i>	
Capítulo 4:	
La calidad industrial y los golpes de calor durante el llenado de los granos de maíz	35
<i>Luis I. Mayer, Alfredo G. Cirilo y Gustavo A. Maddonni</i>	
Capítulo 5:	
La importancia de la dureza en la molienda del maíz flint	49
<i>Martín D. Giacomelli y Juan Manuel Somoza.</i>	
Capítulo 6:	
Diferencias de rendimiento y calidad física de genotipos de maíz flint	57
<i>Lucas Borrás.</i>	
Capítulo 7:	
La importancia de la calidad en el maíz flint Argentino	65
<i>Nicanor Estrada.</i>	
Capítulo 8:	
Toxicidad, riesgo y uso seguro de fitosanitarios	73
<i>María Virginia de Altube.</i>	

Prefacio

Lucas Borrás

Fac. de Ciencias Agrarias, UNR, y CONICET.
lborras@unr.edu.ar

Durante los últimos años desde la Fac. de Cs. Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario nos hemos enfocado en la generación de información relevante para la cadena de suministro de maíz flint (también denominado maíz plata, o colorado duro) no-gmo. El presente libro resume algunos de los avances más recientes, y tiene el objetivo de ayudar a comprender diferentes aspectos relacionados con esta cadena de suministro.

Al igual que en las ediciones anteriores (*Manejo Eficiente del Nitrógeno en Maíces Flint*, 2014; *Optimizando el Manejo del Cultivo de Maíz Flint*, 2016; *Manejo de Maíz Flint*, 2018) los capítulos están escritos por diferentes actores, intentando describir la diversidad de temas relacionados con la especialidad. Algunos más relacionados con la producción y el acopio, otros con la molienda y el uso final del producto, y otros a la generación de conocimiento más básico proveniente del mundo académico. Se suma además un capítulo inicial sobre la relevancia de la producción sustentable.

Capítulo 4

La calidad industrial y los golpes de calor durante el llenado de los granos de maíz.

Luis I. Mayer¹, Alfredo G. Cirilo² y G. A. Maddonni^{1*}

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, e Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA-CONICET).

² INTA Pergamino.

*E-mail: maddonni@agro.uba.ar

Introducción

La producción de maíces con calidad diferenciada como el colorado duro o *flint* y el *pisingallo* o *popcorn* constituye una alternativa viable para acceder a un mercado de precios más favorables que los ofrecidos en el mercado de los *commodities* (MAGyP, 2019). En maíz, la calidad de los granos exigida depende del uso final al que son destinados. Uno de los principales usos de los granos de maíz en la industria de la molienda seca es la elaboración de copos para desayuno (*corn flakes*). Para este destino industrial los granos considerados de mayor aptitud son aquellos con una elevada dureza (expresada como resistencia mecánica a la acción del molino, Wu, 1992) y capacidad de su endosperma para partirse en trozos (*grits*) de mayor granulometría durante el proceso de la molienda seca, determinando así un mayor rendimiento de *flaking-grits* (Lee et al., 2007). Durante dicho proceso, la dureza de los granos también facilita la separación entre el germen y el endosperma (Seetharaman et al., 2001). La presencia de este último componente del grano en los *grits* representa una impureza que atenta contra la calidad específica de los copos para desayuno y otros subproductos. Estas características son altamente dependientes del tipo de endosperma predominante en el grano (Watson, 1988). En los granos del maíz *flint* y de los *pisingallos*, la fracción córnea o vítrea del endosperma, ubicada en la periferia

del grano, posee una mayor dureza y densidad, que la fracción blanda o harinosa ubicada en la parte central del grano (Fig.1). En términos de dureza y rendimiento de *flaking-grits*, el maíz *flint* supera ampliamente a los maíces *dentados* y *semi-dentados* por su mayor proporción de endosperma córneo de alta densidad (Cirilo y Andrade, 1998), siendo en consecuencia los más demandados por la industria de la molienda seca. Además, la dureza es una característica deseable en todos los maíces porque otorga una menor susceptibilidad al quebrado y ataque de patógenos durante el manejo post-cosecha (De Dios et al., 1990).

Figura 1. Esquema de un corte longitudinal de granos de maíz, representando los diferentes tipos de endosperma y la ubicación del embrión o germen.



El tamaño de los granos también constituye una característica relevante para la industria molinera. Se ha demostrado que los granos más pequeños, en comparación a aquellos más grandes, son más resistentes a la fragmentación durante la molienda seca y determinan rendimientos de *flaking-grits* más bajos (Miller et al., 1981). En este sentido, condiciones de estrés por calor durante el llenado que reducen el tamaño final de los granos (Rattalino Edreira et al., 2014; Mayer et al., 2014) podrían provocar pérdidas sustanciales del rendimiento de *flaking-grits*.

A nivel comercial, se han convenido estándares de calidad para los maíces *flint* basados en diversos parámetros físicos (Serignese y Pescio, 1995). Los granos de calidad preferencial deben lograr un peso hectolítrico $\geq 79 \text{ kg hL}^{-1}$, un índice de flotación $\leq 0,12$ en una mezcla líquida de densidad $1,305 \text{ g cm}^{-3}$, y luego de una molienda una relación de partículas gruesas/finas ≥ 4 . Además, la proporción de los granos con calibre grande ($> 8 \text{ mm}$) debe ser $\geq 0,5$; y la proporción de los granos con calibre pequeño ($< 6,5 \text{ mm}$) debe ser $\leq 0,03$. Trabajos recientes demostraron que condiciones ambientales que limitan la disponibilidad de asimilados durante el llenado pueden derivar en granos alejados de las especificaciones de calidad comercial mencionadas (Masagué, 2004; Cirilo et al., 2011).

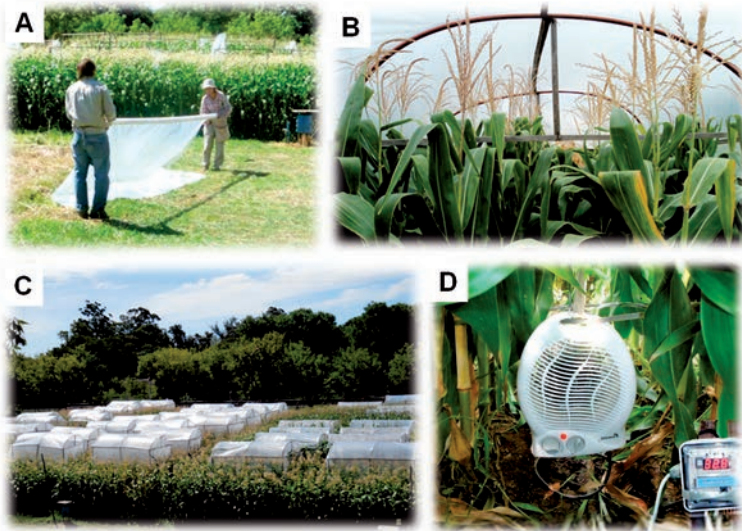
Por otra parte, el color de los granos es una característica intrínseca del genotipo, pero puede alterarse por las condiciones del ambiente (Di Martino et al., 2003). El color del grano está asociado al contenido de carotenoides del endosperma. Estos pigmentos amarillo-anaranjados brindan una coloración favorable a la piel de los pollos y a las yemas de los huevos cuando participan en la dieta avícola. Asimismo, dichos pigmentos están localizados mayoritariamente en la porción córnea del endosperma (Blessin et al., 1964; Weber, 1987) y, por ende, una pronunciada coloración rojizo-anaranjada estaría directamente ligada a la dureza del grano. En este sentido, el maíz *flint* contiene casi el doble de pigmentos carotenoides que los maíces *dentados* y *semi-dentados* (Di Martino et al., 2003). Adicionalmente, se ha demostrado que los granos pequeños con una relación de partículas gruesas/finas en la molienda disminuida como resultado de la incidencia de sequías durante el llenado tuvieron una coloración menos rojiza y más amarillenta que aquellos grandes con una relación de partículas gruesas/finas elevada derivados de condiciones hídricas no limitantes durante el mismo período (Masagué, 2004).

Por su parte, la producción de *pisingallo* también se encuadra dentro del mercado de especialidades, motivo por el cual la calidad del grano cosechado cobra gran relevancia. La mayor parte de su producción es destinada a la elaboración de rosetas de maíz o pochoclos para consumo humano. El volumen de expansión en el *popeado* (cociente entre el volumen ocupado por las rosetas y el peso de los granos de los cuales se originaron, en $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) es el principal parámetro de calidad comercial. Valores más altos de este parámetro representan un beneficio para la industria porque en la comercialización el precio de las rosetas se define por unidad de volumen (Ziegler, 2001). El valor mínimo de este parámetro industrial es $40 \text{ cm}^3 \text{g}^{-1}$. Si bien no se han evidenciado relaciones entre la dureza y el volumen de expansión (Ziegler, 1983), sí se han registrado disminuciones conjuntas de este último rasgo y el peso individual de los granos como consecuencia de condiciones de crecimiento limitantes (e.g., defoliaciones durante el llenado de los granos; Severini et al., 2011).

Si bien los atributos de dureza y expansión de las rosetas son heredables, la inestabilidad de su nivel de expresión en respuesta a los factores del ambiente (Eyherabide et al., 1992; Eyherabide y Colazo, 1996; Cirilo y Andrade, 1998; Eyherabide et al., 2004; Tanaka et al., 2005; Actis, 2006; Severini et al., 2011) puede dar lugar a granos que no cumplan con las especificaciones de calidad industrial. A pesar de que se han estudiado los efectos del estrés por calor en condiciones controladas sobre propiedades específicas de la harina de maíces cerosos o *waxy* (Lu y Lu, 2013), la información referida a la influencia de temperaturas extremadamente altas sobre los parámetros de la calidad industrial de los granos según el uso final es aún escasa.

En este capítulo se presentarán evidencias recientes sobre (i) las respuestas de diversos parámetros de calidad industrial (peso y calibre de los granos, densidad, índice de flotación, peso hectolítrico, relación de molienda, rendimiento de *flaking-grits*, volumen de expansión en el *poppeado* y color), en genotipos de diferente destino de producción (*flint*, *pisingallo* y dos *semi-dentados*) ante episodios de calor extremo durante el llenado, y (ii) las posibles asociaciones entre estos parámetros. Para ello se realizaron experimentos manipulativos durante dos campañas, en los cuales se expuso a los cultivos a episodios de calor extremo a principios y finales del llenado efectivo de los granos (Fig. 2).

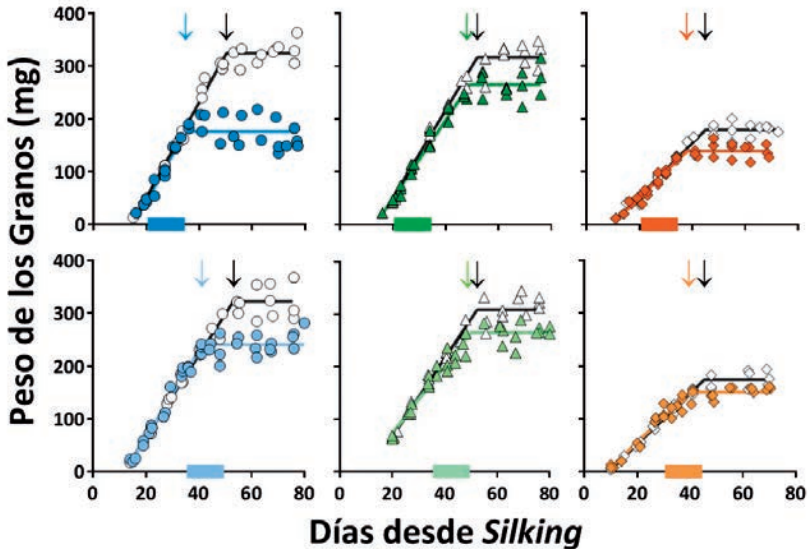
Figura 2. Fotografías del dispositivo experimental para la generación de golpes de calor a campo (i) montaje de polietileno cristal sobre las estructuras de madera destinadas a los tratamientos controles y estresantes (A), (ii) el interior de un mini-invernáculo (B), (iii) la coincidencia temporal entre la imposición de todos tratamientos de temperatura (C), y (iv) el sistema de calentamiento con unidad de control automatizada (D).



Efectos del estrés por calor sobre los parámetros de calidad industrial

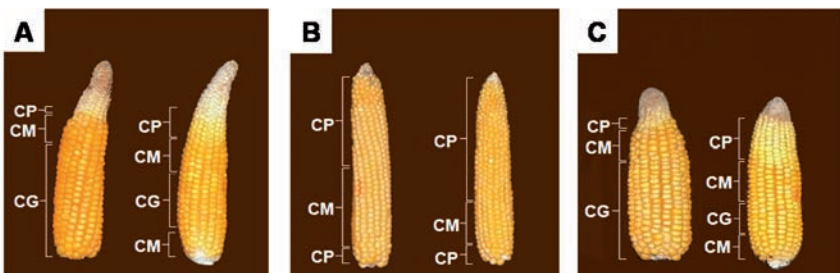
La exposición de los híbridos a los golpes de calor durante el período de llenado efectivo impactó negativamente sobre el peso individual de sus granos, debido a un cese anticipado en la acumulación de materia seca. El impacto resultó de mayor magnitud cuando el estrés tuvo lugar en etapas tempranas del llenado y especialmente en el híbrido *semi-dentado* (Fig. 3).

Figura 3. Evolución del peso individual de los granos durante el llenado de tres híbridos de maíz: semi-dentado templado (círculos); flint (triángulos) y pisingallo (rombos); bajo dos regímenes de temperatura contrastantes [control sin calentamiento (símbolos vacíos); estresante (símbolos llenos)] durante etapas tempranas (superior) y tardías (inferior) del llenado efectivo. Las flechas señalan el momento de cese del llenado.



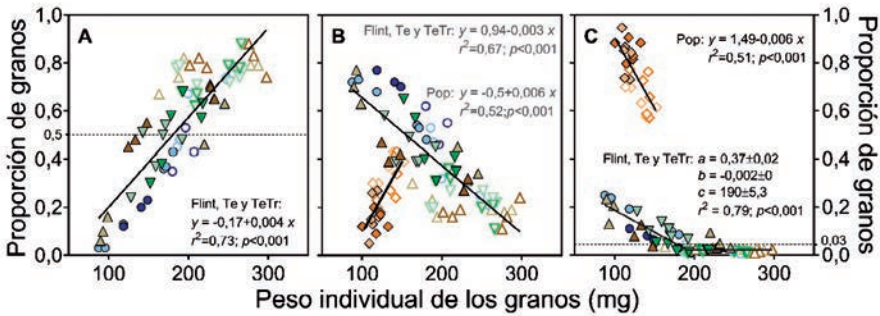
La reducción del peso medio de los granos se tradujo en disminuciones de las fracciones de granos grandes e incrementos de las fracciones de granos medianos y pequeños (Fig.4).

Figura 4. Espigas de híbridos de maíz con tipo de grano distintivo [colorado duro, flint (A); pisingallo (B); semi-dentado templado (C)] sometidos a regímenes de temperaturas contrastantes [control sin calentamiento (espiga izquierda); estresante (espiga derecha)] durante etapas tempranas del llenado efectivo. En cada espiga se señalan esquemáticamente tres fracciones de granos con calibre distinto, grande (CG; >8 mm), mediano (CM; <8 mm y >6,5 mm) y pequeño (CP; <6,5 mm).



Así, la incidencia de los golpes de calor condujo a que los cultivos tuvieran granos con calibres alejados de los requerimientos de calidad superior, pretendidos por la industria (Fig. 5).

Figura 5. Relación entre el peso individual de los granos y la proporción de ellos con (i) calibre grande (>8 mm) (A), (ii) mediano (<8 mm y >6,5 mm) (B), y (iii) pequeño (<6,5 mm) (C) de cuatro híbridos de maíz: flint (triángulos invertidos); pisingallo, Pop (rombos); semi-dentado templado, Te (círculos); semi-dentado templado x tropical, TeTr (triángulos), bajo dos regímenes de temperatura contrastantes [control sin calentamiento (símbolos vacíos); estresante (símbolos llenos)] durante etapas tempranas (símbolos de color claro) y tardías (símbolos de color oscuro) del llenado efectivo en 2009-2010 y 2010-2011. Cada punto representa una repetición. Las líneas horizontales discontinuas en (A) y en (C) muestran el valor mínimo y máximo de cada calibre admitido para calidad preferencial.



Por su forma irregular y tamaño, estos granos se fragmentarían en *grits* de granulometría muy pequeña que son comercialmente indeseables (Eckhoff y Paulsen, 1996), y además la separación de su germen poco efectiva durante la molienda redundaría en subproductos de mayor impureza (Martín Giacomelli, ARCOR SAIC Argentina, com. pers).

La densidad de los granos, el índice de flotación, el peso hectolítrico y la relación de molienda del híbrido *flint* y el *pisingallo*, no respondieron a la incidencia de los golpes de calor durante el llenado (Cuadro 1). Por el contrario, estos parámetros fueron afectados en los híbridos *semi-dentados*, especialmente en el híbrido de germoplasma templado cuando el estrés por calor tuvo lugar durante la primera etapa del llenado de los granos.

En cuanto al rendimiento de *flaking-grits*, el estrés térmico siempre causó aumentos de este rasgo en el híbrido *semi-dentado* templado x tropical (ca. 0,43 vs 0,46) y en el *flint* (ca. 0,44 vs 0,47) especialmente cuando fue impuesto en etapas

tempranas del llenado (Cuadro 1). Para el *pisingallo*, este parámetro de calidad también mostró aumentos frente al estrés, pero sólo en uno de los experimentos (ca. 0,63 vs 0,68). Adicionalmente, las temperaturas extremadamente altas durante el llenado nunca alteraron el volumen de expansión (ca. 41,5 cm³ g⁻¹) para el *pisingallo*, mientras que promovieron aumentos en el volumen de expansión del híbrido *flint* y *semi-dentado* templado x tropical (Cuadro 1).

Cuadro 1. Densidad de los granos por espectroscopía de infrarrojo cercano (DNIT), índice de flotación (IF), peso hectolítrico (PH), relación de molienda (RM), rendimiento de flaking-grits (RFG) y volumen de expansión en el popeado (VE) de híbridos de maíz sometidos a regímenes de temperatura control (RTC) y estresante (RTE) durante etapas tempranas (M1) o tardías (M2) del llenado efectivo de los granos en dos experimentos (2009-2010 y 2010-2011). RT, régimen de temperatura; Exp, experimento; M, momento del llenado efectivo; H, híbrido; Flint, colorado duro; Pop, *pisingallo*; Te, *semi-dentado* templado; TeTr, *semi-dentado* templado x tropical. Valores p de los efectos principales e interacciones. NS, no significativo; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

Exp	M	H	DNIT (kg hL ⁻¹)		IF		PH (kg hL ⁻¹)		RM		RFG		VE (cm ³ g ⁻¹)	
			RTC	RTE	RTC	RTE	RTC	RTE	RTC	RTE	RTC	RTE	RTC	RTE
Exp ₁	M ₁	Flint	132,3	131,8	0,03	0,08	81,7	80,3	3,9	4,1	0,44	0,47	3,4	3,5
		Pop	134,0	134,3	0,01	0,00	87,5	87,2	5,2	5,4	0,62	0,63	40,2	41,1
		Te	132,3	130,2	0,18	0,96	81,6	75,4	3,7	2,6	0,27	0,27	1,7	2,1
		TeTr	132,3	131,6	0,14	0,20	82,0	81,3	3,5	3,4	0,38	0,41	5,1	4,7
	M ₂	Flint	132,6	132,7	0,02	0,01	82,6	81,4	5,2	5,2	0,50	0,48	7,0	9,7
		Pop	134,3	134,3	0,01	0,01	87,9	86,6	5,4	5,4	0,64	0,65	44,3	43,5
		Te	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		TeTr	132,1	131,1	0,07	0,17	81,7	81,3	4,0	3,6	0,45	0,47	7,3	10,6
Exp ₂	M ₁	Flint	133,0	132,8	0,00	0,01	82,4	82,8	4,5	4,3	0,54	0,53	6,9	7,7
		Pop	134,6	134,6	0,01	0,00	87,1	87,1	4,8	5,0	0,62	0,67	40,0	39,1
		Te	131,0	124,1	0,43	0,65	77,5	70,5	2,9	2,4	0,27	0,28	2,0	2,3
		TeTr	132,1	131,5	0,04	0,08	81,4	76,7	3,5	3,1	0,45	0,52	5,6	3,4
	M ₂	Flint	133,1	132,9	0,03	0,03	82,3	81,7	4,5	4,7	0,51	0,51	5,7	6,6
		Pop	134,7	134,7	0,02	0,01	87,1	86,6	5,0	5,0	0,64	0,68	41,6	41,8
		Te	130,5	126,2	0,76	1,00	76,7	72,0	2,9	1,9	0,28	0,27	2,0	2,2
		TeTr	132,4	132,0	0,06	0,15	81,8	80,2	3,7	3,8	0,45	0,48	6,2	7,1
RT			***				***		***		***		***	
RT × Exp			***		NS		***		NS		*		***	
RT × M			***		*		*		NS		**		***	
RT × H			***		***		***		***		*		*	
RT × Exp × M			**				NS		NS		NS		***	
RT × Exp × H			***				**		NS		**		**	
RT × M × H			**				NS		NS		NS		***	
RT × Exp × M × H			NS				NS		*		*		*	

En consecuencia, los híbridos *semi-dentados* mostraron valores más deficientes de dichos parámetros de calidad industrial que el híbrido *flint* y el *pisingallo* frente a los incrementos en la temperatura del aire durante las etapas tempranas, y en menor medida, durante las tardías del período de llenado. Algunos autores reportaron reducciones de los parámetros de dureza de maíz por variaciones en la oferta nutricional, la fecha de siembra y la disponibilidad hídrica durante el llenado (Masagué, 2004; Actis, 2006; Cirilo et al., 2011) y heladas terminales (Kettlewell, 1996). Adicionalmente, otros trabajos reportaron reducciones en la densidad real de los granos debido a la ocurrencia de temperaturas extremadamente altas durante el llenado (Lu et al., 1996; Wilhelm et al., 1999).

Los granos más livianos y cualitativamente inferiores en su calidad (híbridos *semi-dentados*) por efecto del estrés térmico incrementaron su luminosidad y redujeron su coloración rojiza (ver a modo de ejemplo el cambio en la coloración de los granos del tercio medio superior de las espigas por efecto del estrés en la Fig. 4 y los valores de coordenadas cromáticas del Cuadro 2).

Cuadro 2. Coordenadas cromáticas L (luminosidad), a (rojey) y b (amarillez) de los granos de híbridos de maíz sometidos a regímenes de temperatura control (RTC) y estresante (RTE) durante etapas tempranas (M1) o tardías (M2) del llenado efectivo de los granos en dos experimentos (2009-2010 y 2010-2011). RT, régimen de temperatura; Exp, experimento; M, momento del llenado efectivo; H, híbrido; Flint, colorado duro; Pop, pisingallo; Te, semi-dentado templado; TeTr, semi-dentado templado x tropical. Valores p de los efectos principales e interacciones. NS, no significativo; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

Exp	M	H	L		a		b	
			RT _C	RT _E	RT _C	RT _E	RT _C	RT _E
Exp ₁	M ₁	Flint	71,3	71,8	30,8	30,1	93,6	94,3
		Pop	74,8	74,5	24,8	25,2	94,5	94,9
		Te	72,5	74,9	29,4	24,6	94,3	93,4
		TeTr	73,7	74,5	27,0	25,2	95,2	94,9
	M ₂	Flint	71,2	71,7	31,0	30,1	93,1	93,7
		Pop	74,2	74,3	26,0	25,9	95,2	95,0
		Te	-	-	-	-	-	-
		TeTr	72,5	73,0	29,0	28,1	94,2	95,0
Exp ₂	M ₁	Flint	73,4	74,2	27,4	25,9	95,9	95,2
		Pop	78,0	77,9	18,2	18,3	94,5	94,4
		Te	75,7	78,4	22,7	17,4	94,0	93,8
		TeTr	75,1	76,9	24,0	20,2	93,7	93,5
	M ₂	Flint	72,7	73,0	28,5	28,1	95,0	94,9
		Pop	76,4	76,6	21,2	20,5	93,2	93,2
		Te	74,1	76,0	25,9	22,3	94,1	94,0
		TeTr	73,8	74,4	26,4	25,3	94,2	94,3
RT			***		***		NS	
RT × Exp			NS		NS		NS	
RT × M			NS		NS		NS	
RT × H			***		***		NS	
RT × Exp × M			NS		NS		NS	
RT × Exp × H			NS		NS		NS	
RT × M × H			NS		NS		NS	
RT × Exp × M × H			NS		NS		NS	

Por el contrario, los granos del *flint* y del *pisingallo*, mantuvieron relativamente estables los parámetros de calidad industrial y la coloración ante la incidencia de los golpes de calor; ajustándose a la mayoría de los estándares preferenciales de la calidad comercial. Cabe destacar que la ausencia de efectos marcados del estrés sobre el volumen de expansión de las rosetas podría estar basada en la metodología para determinar de dicho parámetro industrial; la cual procura no utilizar los granos de calibre más pequeño. Más allá de esto, los incrementos observados en la fracción de granos más pequeños por efecto de los golpes de calor para el híbrido *pisingallo* (Fig. 4 y 5) implicarían una pérdida de rentabilidad para la industria elaboradora de pochoclos, puesto que dichos granos son habitualmente descartados por su *popa-do* defectuoso (Eckhoff y Paulsen, 1996).

Estos resultados revelan el mayor grado de homeostasis de los atributos de calidad industrial respecto a aquellos asociados con el peso de los granos (Fig. 3) y su composición química ante la ocurrencia de episodios de calor extremo durante el período post-floración del maíz (Mayer et al., 2014, 2016). En concordancia con lo documentado por otros autores (Bayles, 1977; Pomeranz et al., 1986), las amplias variaciones en el peso individual de los granos observadas para la mayoría de los híbridos no se correspondieron con cambios sustanciales de los parámetros de dureza y coloración.

Relaciones entre los parámetros de calidad de los granos

La densidad real de los granos determinada por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIT) logró predecir los cambios en la mayoría de los parámetros de dureza promovidos por todas las fuentes de variación (Fig. 6, 7). A través de estos modelos y las distintas especificaciones de alta calidad pretendidas por el mercado para cada uno de los parámetros de dureza, se pudo establecer un rango de valores mínimos deseables de densidad real (i.e., entre 131,3 a 132,8 kg hL⁻¹) que podría tomarse como criterio para calificar las muestras de grano que llegan a la industria.

Figura 6. Relación entre el índice de flotación y el peso hectolítrico con la densidad de los granos medida por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIT) de cuatro híbridos de maíz: flint (triángulos invertidos); pisingallo (rombos); semi-dentado templado (círculos); semi-dentado templado x tropical (triángulos), bajo dos regimenes de temperatura contrastantes [control sin calentamiento (símbolos vacíos); estresante (símbolos llenos)] durante etapas tempranas (símbolos de color claro) y tardías (símbolos de color oscuro) del llenado efectivo en 2009-2010 y 2010-2011. Cada punto representa una repetición. Las líneas discontinuas muestran los valores mínimos de peso hectolítrico para calidad preferencial y de densidad de los granos para alcanzarlo.

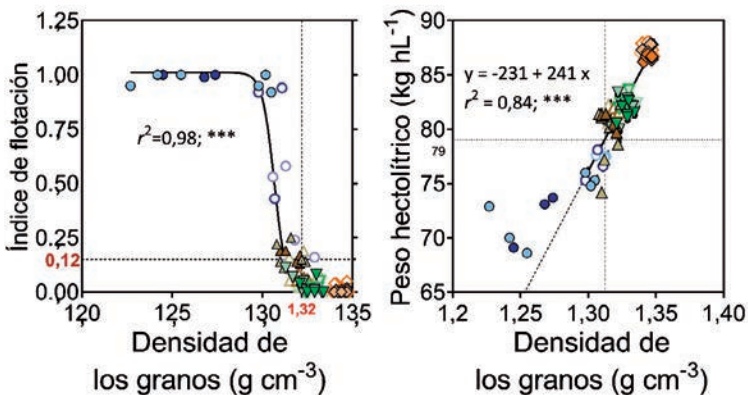
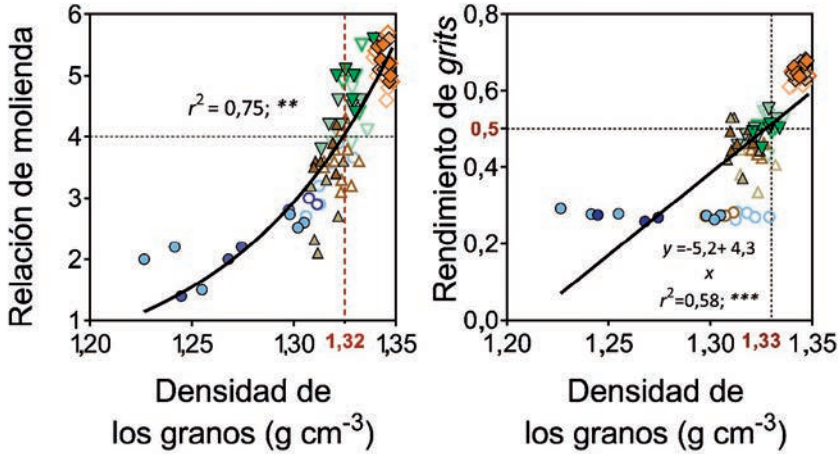
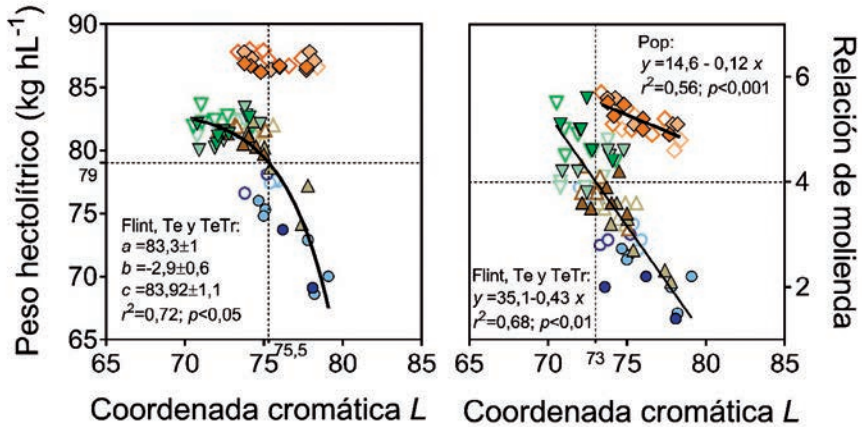


Figura 7. Relación entre la relación de molienda y el rendimiento de flaking-grits con la densidad de los granos medida por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIT) de cuatro híbridos de maíz: flint (triángulos invertidos); pisingallo (rombos); semi-dentado templado (círculos); semi-dentado templado x tropical (triángulos), bajo dos regímenes de temperatura contrastantes [control sin calentamiento (símbolos vacíos); estresante (símbolos llenos)] durante etapas tempranas (símbolos de color claro) y tardías (símbolos de color oscuro) del llenado efectivo en 2009-2010 y 2010-2011. Cada punto representa una repetición. Las líneas discontinuas muestran los valores mínimos de relación de molienda y de rendimiento de flaking-grits para calidad preferencial y de densidad de los granos para alcanzarlos.



Asimismo, la coordenada cromática *L* (luminosidad) logró predecir el peso hectolítrico (del *flint* y los *semi-dentados*) y la relación de molienda de los granos (de todos los genotipos), imponiéndose un límite máximo para calidad comercial superior (Fig. 8). Tanto la densidad medida por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIT) como la coloración de los granos realizada visualmente utilizando una carta cromática desarrollada por el Laboratorio Tecnológico de Cereales de la EEA INTA Pergamino (Di Martino et al., 2003) constituirían metodologías orientativas de la calidad específica de la industria molinera, de simple y rápida aplicación. Sin embargo, estos modelos predictivos deberían ser validados a través del relevamiento de un mayor número de híbridos perteneciente a cada tipo de grano bajo diversas condiciones de crecimiento.

Figura 8. Relación entre el peso hectolítrico y la relación de molienda con la luminosidad de los granos (coordenada L) de cuatro híbridos de maíz: flint (triángulos invertidos); pisingallo, Pop (rombos); semi-dentado templado, Te (círculos); semi-dentado templado x tropical, TeTr (triángulos), bajo dos regímenes de temperatura contrastantes [control sin calentamiento (símbolos vacíos); estresante (símbolos llenos)] durante etapas tempranas (símbolos de color claro) y tardías (símbolos de color oscuro) del llenado efectivo en 2009-2010 y 2010-2011. Cada punto representa una repetición. Las líneas discontinuas muestran los valores mínimos de relación de peso hectolítrico y relación de molienda para calidad preferencial y la coordenada cromática para alcanzarlos.



Conclusiones

Los cultivos expuestos a los golpes de calor durante el llenado efectivo de los granos presentaron un menor peso medio de los granos e incrementaron la abundancia relativa de los granos de bajo calibre, los cuales poseen características inapropiadas para las industrias elaboradoras de copos para el desayuno y pochoclos.

Los golpes de calor impactaron negativamente sobre la mayoría de los parámetros de dureza de los granos de los híbridos *semi-dentados*, especialmente en aquél sin fondo genético tropical. El híbrido *pisingallo*, presentó la sensibilidad más baja a los golpes de calor en los diversos parámetros de calidad industrial. Sería necesario realizar estudios con una base genotípica más amplia para poder corroborar la consistencia de la sensibilidad diferencial de los parámetros de calidad a los golpes de calor entre los distintos tipos de granos.

La correlación elevada entre los parámetros de dureza y la densidad real de los granos determinada por espectroscopía de infrarrojo cercano representa una herramienta promisoría para el diagnóstico orientativo de la calidad diferenciada de maíz según el destino final.

Referencias

- Actis, M., 2006. Elaboración de “corn flakes”: influencia del ambiente y el manejo del cultivo en el rendimiento de “flaking grits” y las propiedades térmicas del almidón Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, p. 117.
- Bayles, R.A., 1977. Poorly filled grain in the cereal crop 1. The assesment of poor grain filling. *Journal of the National Institute of Agricultural Botany* 14, 232-240.
- Blessin, C., Brecher, J., Dimler, R., 1964. Carotenoids of Corn and Sorghum. VI. Determination of Xanthophylls and Carotenes in Corn Gluten Fractions. *Cereal Chemistry* 41, 543-548
- Cirilo, A.G., Actis, M., Andrade, F.H., Valentinuz, O.R., 2011. Crop management affects dry-milling quality of flint maize kernels. *Field Crops Research* 122, 140-150.
- Cirilo, A., Andrade, F.H., 1998. Maíz. En: Aguirrezábal, L.A.N., Andrade, F.H. (Eds.), *Calidad de Productos Agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico*. Facultad Cs. As UNMdP y EEA Balcarce INTA. Imprenta Laukakolor, Buenos Aires, p. 315.
- De Dios, C.A., Puig, R.C., Robutti, J.L., 1990. Caracterización de la calidad del maíz argentino. Informe técnico 241 INTA *Revista de Tecnología Agropecuaria* INTA, CRBAN, EEA Pergamino, INTA, CRBAN, EEA Pergamino, p. 12.
- Di Martino, A.m., Robutti, J.L., Cirilo, A.G., 2003. El uso de una carta cromática permite evaluar el efecto de distintas técnicas de manejo sobre la intensidad del color en grano de maíz colorado duro. *Revista de Tecnología Agropecuaria* pp. 14-15.
- Eckhoff, S.R., Paulsen, M.R., 1996. Maize. En: Henry, R.J., Kettlewell, P.S. (Eds.), *Cereal grain quality*. Chapman and Hall, London, pp. 77-112.
- Eyherabide, G., Robutti, J., Percibaldi, N., Presello, D., Alvarez, M., 2004. Association between grain yield and endosperm hardness in maize cultivars. *Maydica* 49, 319-326.
- Eyherabide, G.H., Colazo, J.C., 1996. Comportamiento de cultivares de maíz pisingallo en el área de la EEA Pergamino. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. 1, 67-68.
- Eyherabide, G.H., Puig, R.C., Robutti, J., 1992. Análisis de caracteres asociados a la textura cristalina del grano en cuatro cultivares de maíz. *Actas del V Congreso Nacional de Maíz y II Reunión Suramericana de Maiceros*. AINABA-INTA-CIMMYT, Pergamino, Argentina, pp. 1-7.
- Kettlewell, P.S., 1996. Agronomy and cereal quality. En: Henry, R.J., Kettlewell, P.S. (Eds.), *Cereal grain quality*. Chapman and Hall, London, pp. 407-437.
- Lee, K.-M., Herrman, T.J., Bean, S.R., Jackson, D.S., Lingenfelser, J., 2007. Classification of Dry-Milled Maize Grit Yield Groups Using Quadratic Discriminant Analysis and Decision Tree Algorithm. *Cereal Chemistry* 84, 152-161.

- Lu, D., Lu, W., 2013. Effects of Heat Stress During Grain Filling on the Functional Properties of Flour from Fresh Waxy Maize. *Cereal Chemistry Journal* 90, 65-69.
- MAGyP, 2019. Sitio Web: <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas/archivo/95d066e6-8a0f-4a80-b59d-6f28f88eacd5>. Último acceso: 10/02/2019.
- Masagué, O.A., 2004. Influencia del ambiente durante la etapa de llenado del grano en la expresión de la calidad comercial de un híbrido de maíz colorado duro. Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, p. 65
- Mayer, L.I.; Rattalino Edreida, J.I.; Maddonni, G. A. 2014. Oil yield components of maize crops exposed to heat stress during early and late grain-filling stages. *Crop Science* 54: 1-15.
- Mayer, L. I.; Savín, R.; Maddonni, G.A. 2016. Heat Stress during Grain Filling Modified Kernel Protein Composition in Field-Grown Maize. *Crop Sci.* 56 1890-1903
- Miller, B., Hughes, J., Rousser, R., Pomeranz, Y., 1981. Measuring the breakage susceptibility of shelled corn. *Cereal Foods World* 26, 75-80.
- Pomeranz, Y., Hall, G., Czuchajowska, Z., Lai, F., 1986. Test weight, hardness, and breakage susceptibility of yellow dent corn hybrids. *Cereal Chemistry* 63, 349-351.
- Rattalino Edreira, J.I., Mayer, L.I., Otegui, M.E., 2014. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Kernel growth, water relations and assimilate availability for grain filling. *Field Crops Research* 166, 162-172.
- Seetharaman, K., Tziotis, A., Borrás, F., White, P.J., Ferrer, M., Robutti, J., 2001. Thermal and Functional Characterization of Starch from Argentinean Corn. *Cereal Chemistry Journal* 78, 379-386.
- Serignese, A.D., Pescio, F.E., 1995. Maíz colorado duro. Una alternativa interesante. Serie Divulgación N°1. Dirección de Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca., 1-36.
- Severini, A.D., Borrás, L., Westgate, M.E., Cirilo, A.G., 2011. Kernel number and kernel weight determination in dent and popcorn maize. *Field Crops Research* 120, 360-369.
- Tanaka, W., Cirilo, A., Ruiz, R.A., 2005. El manejo agronómico de maíz colorado afecta la calidad comercial del grano. En: AIANBA (Ed.), Actas del 8 Congreso Nacional de Maíz, Rosario, Santa Fe 16-18 de Noviembre, pp. 67-70.
- Watson, S.A., 1988. Corn Marketing, Processing, and Utilization. En: Sprague, G.F., Dudley, J.W. (Eds.), *Corn and Corn Improvement*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, pp. 881-940.
- Weber, E., 1987. Carotenoids and tocopherols of corn grain determined by HPLC. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 64, 1129-1134.
- Wilhelm, E.P., Mullen, R.E., Keeling, P.L., Singletary, G.W., 1999. Heat stress during grain filling in maize: effects on kernel growth and metabolism. *Crop Science* 39, 1733-1741

- Wu, Y., 1992. Corn hardness as related to yield and particle size of fractions from a micro hammer-cutter mill. *Cereal Chemistry* 69, 343-347.
- Ziegler, K.E., 1983. Correlations of popping expansion and kernel hardness, Iowa State. University annual report to the Popcorn Institute, Iowa State University, Ames, IA.
- Ziegler, K.E., 2001. Popcorn. En: White, P.J., Johnson, L.A. (Eds.), *Corn: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, Minnesota, pp. 783-809.