



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO DE MAÍZ Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO

Pistarelli, D.¹; Gerde J.^{1,2}; Galizia L.³; Alvarez Prado S.^{1,2}

¹ Cátedra de Sistemas de Cultivos Extensivos – GIMUCE, FCA - UNR, Zavalla, Santa fe, Argentina.

² IICAR – CONICET, FCA - UNR, Zavalla, Santa Fe, Argentina.

³ INTA Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

pistarellidaniel@gmail.com; jgerde@gmail.com; galizia.luciana@inta.gob.ar;
Santiago.alvarezprado@unr.edu.ar

IMPACT OF RESOURCE AVAILABILITY ON MAIZE GRAIN QUALITY AND ITS ASSOCIATION WITH GRAIN YIELD

ABSTRACT

Grain quality is a key attribute for the maize industry, particularly in Flint hybrids used for dry milling, where traits such as vitreousness, grain protein concentration, and kernel size are important determinants of industrial quality. The objective of this study was to evaluate the effects of resource availability on grain quality traits in ears of different hierarchical order (primary, secondary, and tiller ears) and their association with grain yield. Six commercial hybrids (four Flint and two semi-dent) were evaluated across twelve environments generated by combinations of sowing date, plant density, and water and nitrogen availability. Grain yield varied mainly according to environmental conditions and was negatively associated with grain protein concentration. Secondary and tiller ears exhibited a stronger negative relationship between grain protein concentration and thousand-kernel weight than primary ears. Flint hybrids exhibited higher grain protein concentration, greater thousand-kernel weight, higher vitreousness, and greater retention on the 8-mm sieve than semi-dent hybrids. In addition, Flint hybrids met the vitreousness requirements established by the Flint Standard in most environments.

PALABRAS CLAVE - KEYWORDS

Maíz Flint, concentración de proteína, tipo de espiga, calidad industrial – Flint maize, protein concentration, ear rank, grain processing quality

INTRODUCCIÓN

El rendimiento en grano en maíz está estrechamente relacionado con la oferta ambiental que explorará el cultivo durante las etapas reproductivas de su ciclo (Otegui et al., 1996). El rendimiento está directamente asociado con el número de granos por m², que se define durante el período crítico centrado en floración. La fecha y la densidad de siembra son dos prácticas de manejo agronómico que permiten regular la disponibilidad de recursos que tendrá el cultivo durante esta etapa (Otegui et al., 2021). A su vez, en ambientes restrictivos, la elección del híbrido aparece como una alternativa para hacer un uso más eficiente de los mismos. En estas condiciones, híbridos con mayor plasticidad reproductiva permiten incrementar los rendimientos o compensar la falla en el establecimiento de plántulas (Rotilli et al., 2021). Sin embargo, se desconoce cuál es el impacto de la plasticidad reproductiva sobre la calidad del grano





50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

de maíz. Este aspecto se vuelve relevante en especialidades como el maíz flint, cuya dureza es un atributo deseado para la molienda seca.

En la producción de maíz flint, la calidad del grano y el rendimiento del cultivo no necesariamente van de la mano (Abdala et al., 2024), por lo que no siempre se alcanzan los estándares de alta calidad establecidos por la Norma Flint del SENASA: (i) tener un peso hectolítrico no menor de 76 kg hl⁻¹, (ii) un índice de flotación máximo del 25 % (en una solución estándar), y (iii) tener al menos 92% de los granos con más del 50 % del endosperma vítreo. Esos valores, sumados al valor de retención en zarandas redondas de 8 mm (idealmente mayor al 50 %), definen su calidad para la molienda seca.

En este trabajo se analizó el impacto de la disponibilidad de recursos sobre la calidad del grano de maíz proveniente de espigas de distinta jerarquía dentro de la planta y su relación con el rendimiento.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó durante la campaña 2023/2024 en la FCA - UNR Zavalla, Santa Fe e INTA Pergamino, Bs As. Se evaluaron 6 híbridos comerciales (4 flint y 2 semidentados) en 12 ambientes generados por la combinación de dos fechas de siembra (temprana – tardía), dos localidades (Zavalla – Pergamino), dos densidades (30.000 pl ha⁻¹ – 110.000 pl ha⁻¹) y dos condiciones nutricionales e hídricas (riego + nitrógeno y secano), en un diseño completamente aleatorizado. En la localidad de Pergamino solo se realizaron ambientes en secano. Por otro lado, se seleccionaron densidades extremas con el objetivo de evaluar la plasticidad reproductiva y la calidad de los granos bajo las condiciones evaluadas. Los híbridos comerciales fueron: 4 híbridos de maíz tipo flint (NT2572, SMF8080, ACA514, EG808) y 2 híbridos del tipo semidentados (DK7210, P2167).

Al momento de la siembra se utilizó un 30 % de semillas por encima del objetivo y luego se raleó en el estado V2-V3 (Ritche y Hanway, 1986) para llevar cada parcela a la densidad objetivo.

En los ambientes con fertilización + riego, la fertilización se realizó en dos momentos, un 60 % a la siembra para favorecer el macollaje y el 40 % restante en V6 (Ritche y Hanway, 1986) hasta llevar el valor de N a un total de 220 kg ha⁻¹.

Para la determinación del rendimiento y sus componentes se cosecharon manualmente las espigas de los 2 surcos centrales de cada parcela, separando las espigas provenientes de distinta jerarquía dentro de la planta (primarias, secundarias y macollos).

En el momento de la trilla, se contabilizó el número de espigas cosechadas, rendimiento y humedad de cada parcela, diferenciando en espigas principales, espigas secundarias y de macollos. El número de granos por metro cuadrado se estimó a partir del rendimiento y el P1000.

A cada una de las muestras se les realizaron las siguientes determinaciones de calidad: (i) peso hectolítrico utilizando la balanza de Schopper, (ii) vitreosidad a partir de cortes longitudinales a 200 granos sanos observando ausencia de corona dentada y estimación visual del % de endosperma corneo, (iii) índice de flotación colocando 100 granos de la muestra en una solución acuosa de nitrato de sodio con un peso específico de 1,25 a 35 °C establecidos por la Norma Flint (MAGyP, 2015), (iv) retención en



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

zaranda redonda de 8 mm (%) utilizando un agitador de tamices y agitando cada muestra durante 2 minutos, y (v) concentración de proteína, aceite y almidón mediante NIR.

Los datos se analizaron mediante ANOVA con el programa InfoStat. Se evaluaron los efectos genotipo, ambiente, manejo e interacciones con un valor $p < 0.05$ para considerar la presencia de diferencias significativas. Por otro lado, se evaluaron correlaciones entre variables mediante el ajuste de regresiones con GraphPad Prism 6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos variaron entre 6.000 kg ha⁻¹ y 15.000 kg ha⁻¹ para la fecha de siembra temprana y 4.500 kg ha⁻¹ y 12.500 kg ha⁻¹ para la fecha de siembra tardía. Los mismos estuvieron principalmente explicados por variaciones en el ambiente, donde los mayores rendimientos se observaron en alta densidad con riego y los menores rendimientos se observaron en baja densidad en seco (Fig. 1). Las variaciones en el rendimiento tanto en los híbridos flint como en los semidentados estuvieron mayormente asociadas a cambios en el número de granos más que al peso de los granos ($R^2 = 0,75$ y $0,69$, $P < 0,0001$ para flint y semidentados respectivamente). Por su parte, el peso de granos no presentó diferencias significativas entre los híbridos ($p > 0,05$).

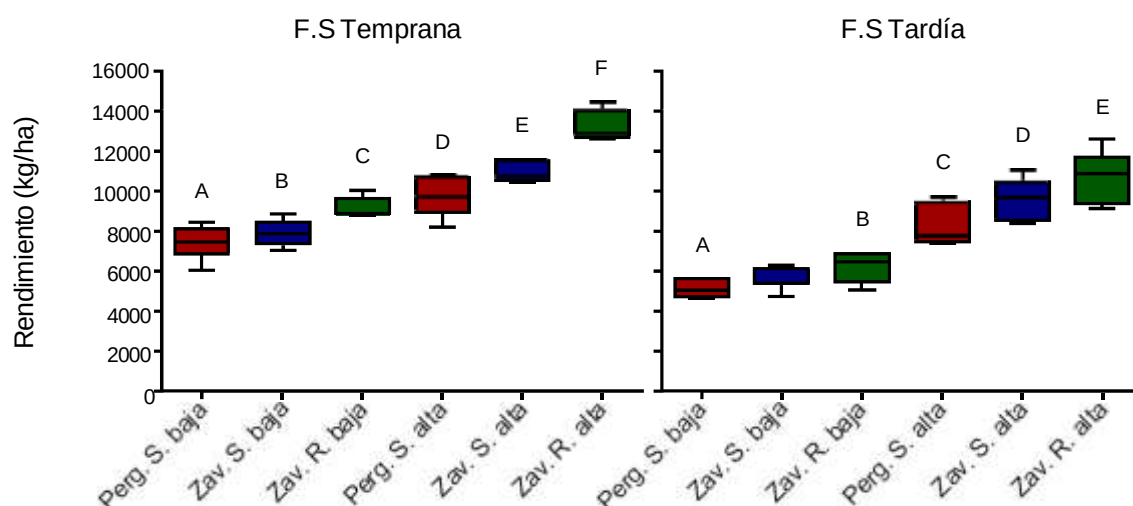


Figura 1: Variabilidad del rendimiento (kg ha⁻¹) para cada ambiente explorado diferenciado por la densidad (alta o baja), condición hídrica (R o S) y localidad. Cada gráfico corresponde a una fecha de siembra. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre ambientes de una misma fecha de siembra con $p < 0.001$ a partir de un ANOVA.

La concentración de proteína de los granos por m² varió entre 6,5 y 12,4 % para los híbridos dentados y 7,3 y 13,3% para los híbridos flint. Se observó una relación negativa entre el rendimiento y la concentración de proteínas independientemente del tipo de híbrido (Fig. 2).



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

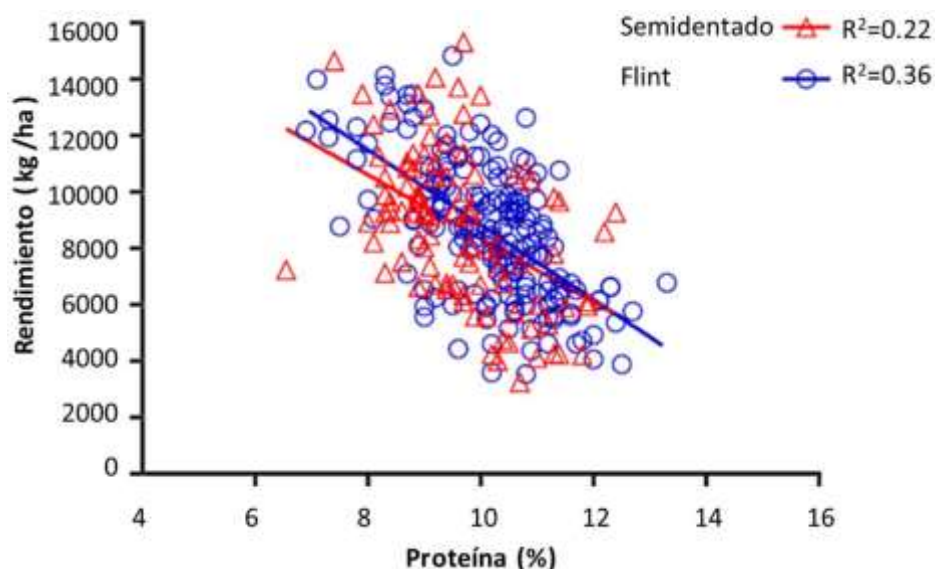


Figura 2: Relación entre el rendimiento de los maíces flint (azul) y semidentados (rojo) y el contenido de proteínas. Se indica el coeficiente de determinación para ambos ajustes, los cuales fueron significativos con un $p < 0,0001$.

La concentración de proteína en grano estuvo negativamente relacionada con el número de granos. Esta relación se observó tanto para las espigas principales (Fig. 3; $R^2=0,26$ y $R^2=0,17$ para flint y semidentados) como secundarias ($R^2=0,10$ y $R^2=0,09$), pero no para espigas provenientes de macollos (Fig. 3).

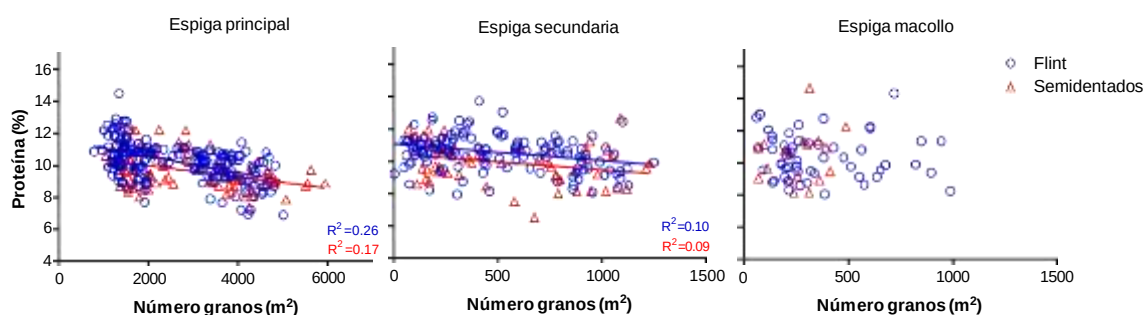


Figura 3: Relación entre la concentración de proteína y el número de granos m^{-2} para cada tipo de espiga en híbridos flint (azul) y semidentados (rojo). Espigas principales $p < 0,0001$, espigas secundarias $p < 0,05$ y no significativas (ns) para los macollos.

Los granos provenientes de espigas principales fueron los más pesados con 289 g, seguidos por los provenientes de espigas de macollos 278 g, mientras que los más livianos fueron los de las espigas secundarias con 269 g (Tabla 1). Los maíces flint tuvieron un mayor peso de 1000 granos para cada tipo de espiga en comparación con los semidentados (Tabla 1).

En cuanto a la concentración de proteína se observó una tendencia similar a la del peso de 1000 granos. Los valores medios, de los dos tipos de maíces fueron 10,1 %, 10,3 % y 10,4 % para espigas principales, secundarias y de macollos (Tabla 1). Por su parte, los híbridos flints presentaron mayores concentraciones que los semidentados con 10,2 y 9,6 % (Tabla 1).



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Tabla 1: Resumen de valores medios y análisis estadístico de parámetros de calidad evaluados.

Ambiente	Fecha siembra	Riego	Densidad	Tipo	Espiga	Genotipo	P1000s (g)	Proteína %	Vitreosidad %	Retención %
Pergamino							277	10,2	68,1	40,0
Zavalla							278	9,9	73,4	46,0
	Temprano						287	9,4	72,1	50,0
	Tardío						267	10,5	71,1	38,7
		No					275	10,2	69,8	43,0
		Si					282	9,7	74,1	47,7
			30				287	10,4	72,8	47,7
			110				267	9,6	69,5	38,0
				Dent			268	9,6	21,0	34,3
				Flint			282	10,2	93,9	49,3
					Principal		284	10,1	68,0	45,0
					Secundaria		266	10,3	71,1	39,0
					Macollo		277	10,4	75,5	50,0
						DK7210	279	9,4	21,6	38,7
						P2167	256	9,8	20,8	30,7
						ACA514	276	9,9	95,1	45,3
						EG808	280	10,4	93,0	50,7
						NT2572	296	10,2	93,8	54,0
						SMF8080	276	10,3	93,5	49,3
						Ambiente	***	***	ns	ns
						FS	***	***	ns	*
						Densidad	***	***	ns	***
						Tipo	***	***	***	***
						FS*A	*	ns	ns	**
						FS*Dens	*	ns	ns	ns
						FS*Tipo	ns	ns	***	ns
						A*Dens	***	**	ns	ns
						A*Tipo	**	ns	***	ns
						Dens*Tipo	ns	ns	ns	ns

*, **, *** significativo con $p < 0.05$, 0.01 y 0.001 respectivamente, ns: no significativo

El análisis por tipo de espiga mostró una relación negativa ($p < 0,05$) entre el peso de 1000 granos y la concentración de proteínas, principalmente en espigas secundarias y macollos, sin observarse una relación en los granos de la espiga principal. Las variaciones en peso de grano y concentración de proteína fueron menos marcadas en las espigas secundarias y de macollos de los híbridos flint respecto de los semidentados, aunque en ambos casos la pendiente fue negativa (Fig. 4).

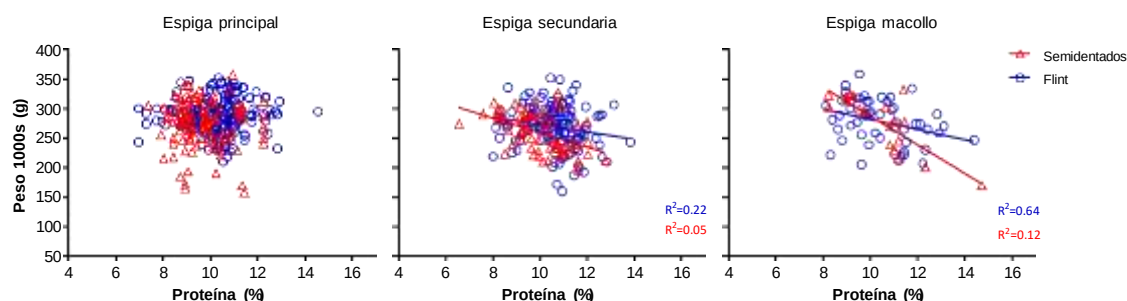


Figura 4: relación entre el contenido de proteínas y el peso de 1000 para cada tipo de espiga en maíces flint y semidentados. La relación entre peso 1000 y proteínas (%) fue no significativa (ns) para espigas principales, para las espigas secundarias $R^2=0,22$ y $R^2=0,05$ y para las espigas de macollos $R^2=0,64$ y $R^2=0,12$ en flint y semidentados respectivamente. Para ambos casos, el valor P fue $p < 0,05$.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Respecto a los parámetros de calidad establecidos por la Norma Flint del SENASA, se evaluó la vitreosidad de los granos para los tres tipos de espigas (principal, secundaria y macollo) en las dos fechas de siembra (temprana y tardía; Fig. 5) en todos los híbridos. Además, para complementar esta evaluación se realizó la medición de porcentaje de retención en zaranda (redonda de 8 mm; Fig. 6).

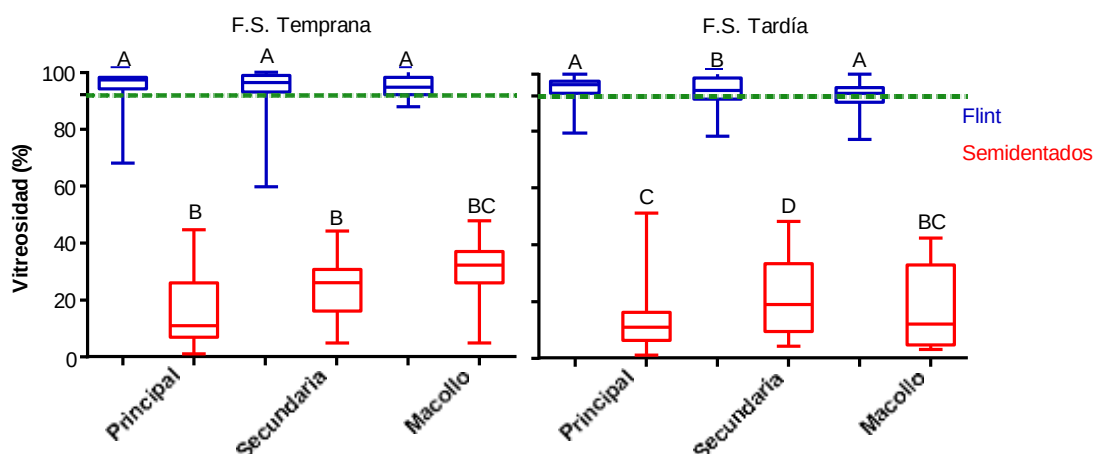


Figura 5: Porcentaje de vitreosidad para diferentes tipos de espigas en genotipos Flint (azul) y semidentados (rojo) para dos fechas de siembra, temprana (izquierda) y tardía (derecha). La línea verde indica el 92% requerido en la Norma Flint para la industria. Letras distintas indican diferencias significativas entre los valores de medias con $p < 0,05$ y $R^2 = 0,40$.

Los híbridos del tipo flint en general superaron el 92% de vitreosidad que establece la Norma Flint en los distintos tipos de espigas (Fig. 5). Por su parte, los híbridos semidentados no superaron el 40% de vitreosidad en ningún caso (Fig. 5). En fechas de siembra tempranas hubo un incremento en la vitreosidad de los granos provenientes de las espigas de los macollos en los híbridos semidentados. Esa tendencia puede observarse en la fecha de siembra tardía, aunque con una media menor y una mayor dispersión de los datos.

Para los maíces flint, los diferentes tipos de espigas siempre se mantuvieron por encima de la norma evidenciando una mayor influencia del componente genético que del ambiental. Sin embargo, en fechas de siembra tardía se observó una leve disminución en la vitreosidad en los granos provenientes de las espigas de los macollos.

Al evaluar el porcentaje de retención de granos en zarandas de 8 mm (Fig. 5), se observó que los granos provenientes de maíces del tipo flint tuvieron un calibre mayor que los semidentados para ambas fechas de siembra. Aunque en la fecha de siembra tardía la proporción que se encuentra por encima del 50% fue menor que en la fecha de siembra temprana (Fig. 6).

El porcentaje de granos retenidos en zaranda de espigas principales y de macollos de los híbridos flint siempre se ubicó cercano al 50 %, valor pretendido por la industria para molienda seca. Para las espigas secundarias, hubo una pequeña diferencia entre las fechas de siembra, donde en promedio no se alcanzó el 50 % requerido por la industria.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

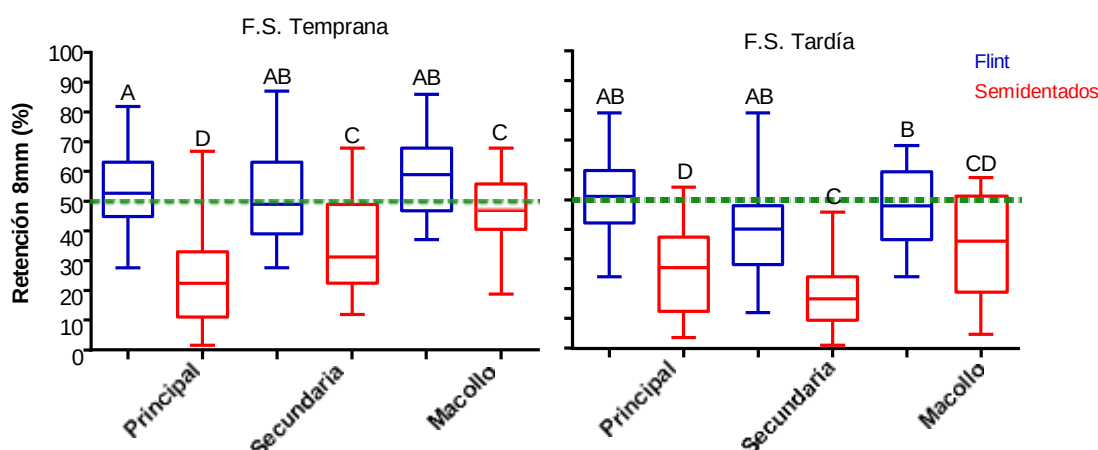


Figura 6: Retención de zaranda redonda de 8mm de diámetro para maíces flint y semidentados. F.S temprana a la izquierda y F.S tardía a la derecha. La línea verde indica el valor requerido para la molienda seca del 50% de retención de la zaranda. Letras distintas indican diferencias significativas entre los valores de medias con $p < 0,05$ y $R^2 = 0,96$.

CONCLUSIÓN

La disponibilidad de recursos modificó el rendimiento y la calidad del grano, mostrando una relación negativa entre rendimiento y concentración de proteínas, asociada principalmente a variaciones en el número de granos. Las espigas con distinta jerarquía dentro de la planta mostraron características diferentes en cuanto a composición de grano y calidad industrial. Las espigas secundarias y de macollos presentaron mayor variabilidad en la concentración de proteínas y una relación más marcada entre proteínas y peso de granos. Los maíces flint mantuvieron los mayores calibres y los porcentajes más altos en vitreosidad que los semidentados, dos variables importantes para la industria de la molienda seca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, L. J., Alvarez Prado, S., Donadio, P., & Borrás, L. (2024). Maize yield and dry milling grain quality trade-offs in Argentinean flint germplasm. *Crop Science*, 64(1), 149-163.
- MAGyP, 2015. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina. Norma XXIX de la Resolución Número 757. Boletín Oficial Octubre 17 1997, página 17 <http://infoleg.gov.ar> (verificada 20/06/2015).
- Otegui, M.E., Ruiz, R.A., Petrucci, D. 1996. Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region. *Field Crops Research*. 47:167–174.
- Otegui, M.E.; Riglos, M.; Mercat, J.L. 2021. Genetically modified maize hybrids and delayed sowing reduced drought effects across a rainfall gradient in temperate Argentina. *Journal of Experimental Botany* 1-9.
- Ritchie, S.W., y J.J. Hanway. 1986. How a corn plant develops. Special Report no. 48. Iowa State University and Technology Cooperative Extension Service, Ames Iowa.
- Rotilli, D. H., Sadras, V. O., Abeledo, L. G., Ferreyra, J. M., Micheloud, J. R., Duarte, G., ... y Maddonni, G. A. (2021). Impacts of vegetative and reproductive plasticity associated with tillering in maize crops in low-yielding environments: A physiological framework. *Field Crops Research*, 265, 108107.