

Artículo de divulgación

Efecto de relaciones fuente-destino contrastantes sobre la composición de grano y el color de harina de maíz

Signorelli, G.; Caballero Rothar, N.; Borrás, L.; Gerde, J. A. y Saenz, E.

FCA-UNR

giustina.signorelli@gmail.com; caballerothar@gmail.com; lucas.borras@corteva.com; jose.gerde@unr.edu.ar; saenz@iicar-conicet.gob.ar

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales de mayor volumen de producción a nivel mundial. Su grano es utilizado como materia prima para diversos procesos industriales cuyo destino puede ser la alimentación animal y humana. En Argentina la mayor producción abarca a los híbridos dentados o semidentados OGM (Brun y Dudley, 1989). Estos poseen una estructura de grano blanda debido a una mayor proporción de endosperma harinoso en relación al endosperma vítreo. En cambio, los híbridos flint o Plata tienen alta dureza de grano ya que su endosperma es mayormente vítreo. En el caso argentino, estos últimos son reconocidos por su coloración anaranjada, corona lisa y por ser libres de OGM, siendo esto último muy importante para la comercialización de los mismos a la Unión Europea, la cual es su principal destino (Abdala *et al.*, 2018). Su principal uso es para la alimentación humana a través de la molienda seca.

Los carotenoides son pigmentos responsables de las coloraciones amarillo-anaranjadas de los granos de maíz argentinos y en las harinas derivadas de su molienda (Saenz *et al.*, 2020). Estos pigmentos pueden tener acción reductora de radicales libres, y algunos de ellos son precursores de la vitamina A (α -caroteno, β -caroteno, α -criptoxantina y β -criptoxantina). Su capacidad antioxidante tiene efectos positivos sobre la salud y además mejora la calidad química y sensorial de los alimentos con mayor concentración de carotenoides mediante la disminución de la oxidación de lípidos (Zilic *et al.*, 2012). Del total de los carotenoides alojados en el grano de maíz más del

70% se encuentra en el endosperma vítreo, y los restantes se distribuyen en el endosperma harinoso, el germen y el pericarpio (Blessin *et al.*, 1963).

Los híbridos de maíz actualmente comercializados en Argentina poseen niveles de carotenoides en el rango de entre 16 ppm y 39 ppm (Saenz *et al.*, 2020; Saenz *et al.*, 2021). En particular, los genotipos flint se caracterizan por tener un 30% más que los semidentados. Estas altas concentraciones y la gran proporción de endosperma vítreo son las principales responsables de la tradicional coloración anaranjada oscura de los maíces flint (Saenz *et al.*, 2020).

La dureza del grano es el resultado de la interacción de los componentes mayoritarios del endosperma: el almidón y las proteínas (Caballero-Rothar *et al.*, 2019). El almidón constituye un 68-70% aproximadamente del grano y se encuentra en forma de gránulos inmersos en una matriz proteica. Los híbridos de maíz actuales poseen valores de proteína entre 8% y 9%. En el caso de los genotipos flint, este último componente suele presentarse en niveles superiores a los observados en los semidentados, mientras que con el almidón ocurre lo contrario (Abdala *et al.*, 2018). La mayor concentración de proteínas, en particular de ciertas zeínas, está relacionada de manera positiva con la mayor dureza de sus granos entendida como mayor peso hectolítrico, menor índice de flotación, mayor vitreosidad y mayor densidad del grano (Gerde *et al.*, 2016, 2017).

Si bien la composición del grano de maíz está fuertemente determinada por un

efecto genotípico, el ambiente también la modifica (Cirilo *et al.*, 2011). Por ejemplo, siembras tempranas y altos niveles de fertilización nitrogenada aumentan la concentración de proteína en los granos de maíz (Abdala *et al.*, 2018; Gerde *et al.*, 2016). Particularmente, las condiciones ambientales durante el llenado de granos son muy importantes en la determinación de la composición química y dureza de los granos de maíz (Cirilo *et al.*, 2011). La relación fuente-destino es una variable que intenta describir el balance entre la fuente y la demanda de asimilados durante un periodo determinado del cultivo (Uhart y Andrade, 1991). Particularmente, incrementos en la disponibilidad de asimilados por grano durante el llenado de los mismos (mayor relación fuente-destino) han resultado en una mayor concentración de proteínas (Borrás *et al.*, 2002) y en granos más duros (Cirilo *et al.*, 2011). Estos últimos han sido asociados con mayores concentraciones de carotenoides (Saenz *et al.*, 2020; Saenz *et al.*, 2021). Hipotetizamos que incrementos en la disponibilidad de asimilados por grano también repercutan positivamente sobre estos pigmentos. Sin embargo, no existen evidencias hasta el momento del efecto de relaciones fuente-destino contrastantes durante el llenado de grano sobre la concentración de carotenoides y el color de las harinas de maíz.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de relaciones fuente-destino contrastantes durante el llenado de granos sobre la concentración total de carotenoides, la composición de los granos de maíz (proteína, almidón y aceite) y el color de sus respectivas harinas.

Materiales y métodos

El experimento fue llevado a cabo en el Campo Experimental Villarino, ubicado en Zavalla, Santa Fe, Argentina durante la campaña 2020/2021. Seis genotipos de dureza contrastantes fueron sembrados el día 18 de diciembre de 2020. Los genotipos fueron elegidos por su relevancia comercial, su dureza contrastante y por poseer una amplia variación en la coloración de sus granos (amarillo y anaranjado). Se sembraron en parcelas de cuatro surcos de seis metros de largo con 0,52 m de distancia entre ellos. Se utilizó una densidad de ocho plantas m^{-2} . El experimento fue fertilizado con 160 kg ha^{-1} de urea y 80 kg ha^{-1} de MAP.

Antes de que el cultivo alcance el estadio de floración (R1; Abendroth, 2011), diez plantas fueron marcadas para aplicarles tratamientos de relaciones fuente-destino contrastantes. Una vez que la parcela se encontró en R1, las espigas de cinco plantas fueron cubiertas un día después de R1, lo que restringió el número de flores polinizadas y generó para cada una de estas plantas una situación de alta relación fuente-destino (+ fuente/destino). Este tratamiento es similar al realizado por Borrás *et al.* (2002). A las cinco plantas seleccionadas restantes se las defolió 17 días después de R1 (- fuente/destino). A cada una de ellas se les retiró el 75% del área foliar, lo que resultó en una

situación de baja relación fuente-destino, similar a Tamagno *et al.* (2016). Así se aseguró que el tratamiento de defoliación impacte únicamente sobre la fase de llenado efectivo y no sobre el número de grano fijados (fase lag de llenado y el cuaje).

En madurez comercial las 10 plantas fueron cosechadas individualmente y se les determinó la concentración de proteína, almidón y aceite mediante el uso de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR, FOSS, Dinamarca). Luego, las muestras de grano de cada una de las plantas fueron almacenadas a $-22^{\circ}C$ en la oscuridad hasta efectuar las mediciones de color y carotenoides.

Para la extracción de los carotenoides se utilizó la metodología de Kurilich y Juvik (1999). Las muestras se pulverizaron con una moladora FOSS CT 293 Cyclotec™ a un tamaño de partícula menor a 0,5 mm. La concentración total de carotenoides se determinó espectrofotométricamente (Biehler *et al.*, 2010). Los resultados se presentan como $mg\ kg^{-1}$ en base seca.

El color de los granos y de las harinas obtenidas de su molienda fue determinado mediante el uso de un colorímetro Konica Minolta CR-400 (Minolta Co., Osaka, Japan) configurado con el iluminante D65 y el observador de 2°. Se determinaron

las coordenadas de color HunterLab: la coordenada L (hace referencia a la luminosidad) donde 0 es el negro y 100 es el blanco; la coordenada a (eje rojo-verde) donde los valores positivos hacen referencia a colores más rojizos y los negativos a colores más verdosos y 0 es el neutro; y, por último, la coordenada b (eje amarillo-azul) donde valores positivos son colores más amarillentos, y los negativos son colores más azulados, siendo el 0 el neutro (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014). Además, la intensidad del color conocida como croma (C) puede ser calculada como $(a^2 + b^2)^{1/2}$. También, el ángulo de la tonalidad (h) puede ser calculado como el arco tangente de (b/a), donde 0° o 360° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde y 270° = azul (Bao *et al.*, 2005).

Resultados y discusión

El tratamiento de relación fuente-destino, el tipo de grano y su respectiva interacción tuvieron un efecto significativo sobre el peso del grano ($p \leq 0,001$; Tabla 1). La diferencia en peso de grano entre los dos tratamientos fuente-destino fue de aproximadamente $240\ mg\ grano^{-1}$ (Tabla 1). El peso de grano difirió entre los tipos de grano, donde los semidentados presentaron un mayor peso medio que los flint (326 y $295\ mg\ grano^{-1}$, respectivamente; Tabla 1). La interacción tratamiento x

Biblioteca Digital

Acceso libre para docentes, nodocentes y estudiantes
vía Campus Virtual FCAGR

EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS, TIPOS DE GRANOS, GENOTIPOS DE CADA TIPO DE GRANO SOBRE EL COLOR DE HARINA Y CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES							
Tratamiento fuente-destino	Tipo de grano	Genotipo	Peso de grano mg grano ⁻¹	Color			Carotenoides totales mg kg ⁻¹
				L	C	h	
+ fuente/destino			431	80,5	27,2	89,2	38,7
- fuente/destino			191	80,8	23,4	89,9	32,9
	Flint Semidentado		295	79,9	27,2	87,9	42,3
			326	81,3	23,5	91,1	29,9
	Flint	EG808	291	80,1	27,4	87,7	42,2
		ACA514	292	81,1	25,9	89,8	36,2
		Q542	299	78,8	28	86,6	46,9
	Semidentado	DK7220	312	80,4	22,4	89,7	27,8
		P1815	327	81,7	24,6	91,9	31,6
		Q542	338	81,8	23,7	91,7	30,3
+ fuente/destino	Flint Semidentado		394	79,8	28,6	87,8	43,8
			464	81	25,9	90,5	34,1
- fuente/destino	Flint Semidentado		194	80	25,8	87,9	40,8
			187	81,6	21,2	91,8	25,8
Tratamiento (T)			***	ns	***	***	***
Tipo de grano (TG)			***	*** (0,6)	***	***	***
Genotipo (Tipo de grano) [G(TG)]			ns	*** (1,1)	***	***	*** (2,4)
T x TG			*** (6) ¹	ns	*** (0,4)	*** (0,4)	*** (1,9)
T x G(TG)			ns	ns	*** (0,8)	*** (0,7)	ns
% Variancia							
Tratamiento (T)			92	2	42	3	13
Tipo de grano (TG)			2	25	41	60	61
Genotipo (Tipo de grano) [TG(G)]			2	33	9	29	16
T x TG			0	0	3	2	3
T x TG(G)			0	3	3	3	1
Residual			4	37	2	3	6
*,** y *** significativo al p < 0,05, 0,01 y 0,001 respectivamente; ns: no significativo (p > 0,05)							
¹ Número entre paréntesis representa la diferencia mínima significativa de las medias $\alpha = 0,05$							

Tabla 1.

tipo de grano pone de manifiesto que los granos flint y semidentados responden de manera diferente en el cambio de su peso de grano ante tratamientos de relación fuente-destino contrastantes. La diferencia en peso entre ambos tratamientos fue mayor en el tipo de grano semidentado en comparación al tipo flint (277 y 200 mg grano⁻¹, respectivamente; Tabla 1). El mayor porcentaje de la variancia fue explicado por el tratamiento de relación fuente-destino (92%; Tabla 1).

Con respecto al color de las harinas resultantes de la molienda del grano se pudo observar que los efectos tipo de grano y genotipo dentro de tipo de grano

mostraron diferencias significativas sobre la coordenada L (luminosidad; $p \leq 0,001$). Los granos de tipo semidentado a los que se les aplicó el tratamiento - fuente/destino tuvieron los mayores valores de L (Tabla 1). Todos los efectos del modelo resultaron significativos ($p \leq 0,001$) tanto para la intensidad del color (C) como para el ángulo de la tonalidad (h). Sin embargo, en ambas variables el mayor porcentaje de la variación total estuvo asociado al tipo de grano (> 60%; Tabla 1). Los granos flint presentaron una alta C con una media de 27,2 (Tabla 1). Dicho valor es superior a los reportados previamente por Saenz et al. (2021), donde el rango explorado fue entre 17,0 y 19,1. Por otro lado, los genotipos sometidos al

tratamiento + fuente/destino son los que tuvieron mayor intensidad del color. Granos con una mayor disponibilidad de asimilados presentaron colores más intensos (Tabla 1). Los efectos tratamiento fuente-destino, tipo de grano, genotipo anidado dentro de tipo de grano y la interacción de tratamiento con tipo de grano tuvieron diferencias significativas sobre la concentración de carotenoides ($p \leq 0,001$; Tabla 1). El porcentaje de la variación total estuvo mayormente explicado por el tipo de grano. Sin embargo, la respuesta del tipo de grano flint y semidentado fue diferente ante los tratamientos fuente-destino aplicados (interacción tratamiento x tipo de grano significativa, $p \leq 0,001$). La diferencia en la concentración de carotenoides entre los tratamientos apuntados a aumentar y disminuir la relación fuente-destino fue mayor en los genotipos semidentados que en los flint (8,3 vs. 3,0 mg kg⁻¹, respectivamente; Tabla 1).

Los genotipos flint presentaron una mayor concentración de carotenoides que los genotipos semidentados (42,3 y 29,9 mg kg⁻¹, respectivamente; Tabla 1). Dicho rango de concentraciones fue mayor a los reportados anteriormente por Saenz et al. (2020), donde se encontraron valores entre 39,4 y 24,7 mg kg⁻¹ en un amplio número de genotipos argentinos. En concordancia con dicho trabajo, en el presente trabajo los niveles más altos de estos pigmentos fueron observados en genotipos flint. Por otro lado, se observó una mayor concentración de carotenoides en el tratamiento + fuente/destino en comparación al tratamiento - fuente/destino (38,7 vs. 32,9 mg kg⁻¹; Tabla 1). Las condiciones que produjeron una mayor disponibilidad de asimilados por grano resultaron en una mayor acumulación de carotenoides (Tabla 1).

Los efectos tratamiento fuente-destino, tipo de grano y genotipo dentro de tipo de grano fueron significativos para las concentraciones de aceite, proteína y almidón ($p < 0,001$; Tabla 2). Las interacciones tratamiento fuente-destino x genotipo dentro de tipo de grano y tratamiento fuente-destino x tipo de grano fueron significativas ($p < 0,01$; Tabla 2) para aceite y almidón, respectivamente. Sin embargo, tratamiento fuente-destino y tipo de grano fueron los efectos que

EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS, TIPOS DE GRANOS, GENOTIPOS DE CADA TIPO DE GRANO SOBRE EL PORCENTAJE DE ACEITE, PROTEÍNA Y ALMIDÓN					
Tratamiento fuente-destino	Tipo de grano	Genotipo	Aceite %	Proteína %	Almidón %
+ fuente/destino			4,7	10,4	69,9
- fuente/destino			4,3	8,6	73,3
	Flint Semidentado		4,9 4,2	10,1 9,0	70,4 72,7
	Flint	EG808 ACA514 Q542	4,9 4,4 5,3	10,1 9,0 10,8	70,7 71,1 69,6
	Desdentado	DK7220 P1815 AZ7761	4,3 4,1 4,1	8,8 9,2 8,9	73,0 72,3 72,6
+ fuente/destino	Flint Semidentado		5,1 4,4	11,0 9,8	69,1 70,6
- fuente/destino	Flint Semidentado		4,8 4,0	9,1 8,1	71,7 74,7
Tratamiento (T)			***	*** (0,3)	***
Tipo de grano (TG)			*** (0,1) ¹	*** (0,3)	***
Genotipo (Tipo de grano) [G(TG)]			***	*** (0,5)	*** (0,7)
T x TG			ns	ns	*** (0,5)
T x G(TG)			** (0,2)	ns	ns
% Variancia					
Tratamiento (T)			15	51	59
Tipo de grano (TG)			53	20	26
Genotipo (Tipo de grano) [TG(G)]			23	16	5
T x TG			0	0	3
T x TG(G)			3	3	1
Residual			7	9	6
*, ** y *** significativo al p ≤ 0,05, 0,01 y 0,001 respectivamente; ns: no significativo (p > 0,05)					
¹ Número entre paréntesis representa la diferencia mínima significativa de las medias α = 0,05					

Tabla 2.

explicaron el mayor porcentaje de la variación total observada (Tabla 2).

Respecto del aceite, los genotipos flint presentaron mayor concentración que los genotipos semidentados (4,9 vs. 4,2%, respectivamente; Tabla 2). Por otro lado, dicha concentración fue superior en el tratamiento + fuente/destino con respecto al - fuente/destino (4,7 y 4,4%, respectivamente; Tabla 2). Las medias de los genotipos oscilaron entre 5,3 y 4,1% siendo el híbrido Q542 el de mayor concentración y AX7761 el de menor (Tabla 2).

En cuanto a la proteína, entre los dos tratamientos el que mayor concentración

tuvo fue el + fuente/destino (10,4%; Tabla 2). Los genotipos semidentados presentaron una media de 9,0%, valor inferior a la de los flint (10,1%; Tabla 2). La mayor concentración de proteína observada en los granos con mayor dureza coincide con lo reportado por Caballero-Rothar *et al.* (2019). El rango de concentración de proteína explorado por los genotipos flint fue entre 9,0 y 10,8% (Tabla 2).

Con respecto a la concentración de almidón, se observaron mayores valores en el tratamiento apuntado a la disminución de la relación fuente-destino (- fuente/destino) que en su contraparte (73,3 vs. 69,9%, respectivamente; Tabla 2). Los genotipos

semidentados fueron aquellos con la mayor concentración comparados con los flint (72,7 vs. 70,4%; respectivamente; Tabla 2). Además, entre los distintos genotipos la mayor concentración de almidón se observó en el híbrido DK7220 (73,0%) y la menor en Q542 (69,6%; Tabla 2).

El impacto diferencial de los tratamientos fuente-destino fue evaluado mediante la diferencia entre la concentración de carotenoides del tratamiento + fuente/destino y - fuente/destino en cada uno de los genotipos de dureza de grano contrastante. La diferencia en la concentración de carotenoides entre tratamiento fue mayor en los híbridos con tipo de grano semidentado que en los de tipo flint (Figura 1). Entre los primeros, a su vez, el híbrido AX7761 presentó la mayor diferencia, con una media de la misma de 11,3 mg kg⁻¹, seguido de P1815 y DK7220 con diferencias medias de 7,3 y 6,4 mg kg⁻¹, respectivamente (Figura 1). Por otro lado, los híbridos flint presentaron diferencias de entre 3,7 y 2,5 mg kg⁻¹. La mayor diferencia entre estos materiales de grano duro se observó en el híbrido ACA514 (Figura 1). Esto indica que ante modificaciones en la disponibilidad de asimilados por grano los genotipos de tipo de grano semidentado son más susceptibles a mayores cambios en su concentración de carotenoides totales que los genotipos flint (Figura 1).

DIFERENCIA DE CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES ENTRE LOS TRATAMIENTOS DE ALTA Y BAJA RELACIÓN FUENTE-DESTINO (MG KG⁻¹) DE CADA HÍBRIDO

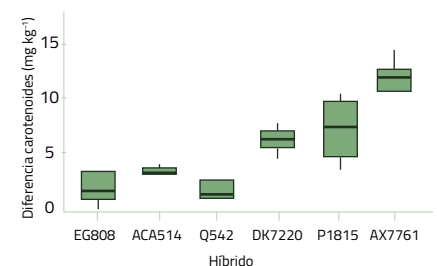


Figura 1.

También, se evaluó el impacto diferencial de los tratamientos fuente-destino sobre el color de las harinas resultante de la molienda de los granos de los híbridos evaluados. La diferencia de la intensidad del color (croma, C) de la harina entre los dos tratamientos también fue mayor en los híbridos semidentados en comparación a

los flint (Figura 2). El híbrido AX7761 fue el que más cambió con un delta medio de 6,3 (Figura 2). Este genotipo también fue aquel que también mostró la mayor diferencia en concentración de carotenoides totales (Figura 1). Por otro lado, Q542 fue el que menos cambió en términos de color con una media de 1,8 (Figura 2).

REPRESENTACIÓN DE LA DIFERENCIA DE CROMA (C) ENTRE LOS TRATAMIENTOS DE ALTA Y BAJA RELACIÓN FUENTE-DESTINO (MG KG⁻¹) DE CADA HÍBRIDO

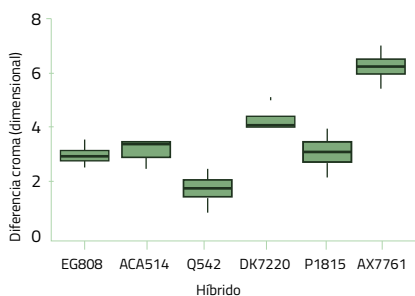


Figura 2.

Los genotipos flint fueron aquellos que tuvieron menores cambios en la intensidad del color de sus harinas y en su concentración de carotenoides totales ante cambios en sus relaciones fuente-destino durante el llenado de grano (Figuras 1 y 2). Esto quiere decir que dichos atributos de calidad del grano fueron más estables en genotipos flint que en los semidentados frente a cambios en la disponibilidad de asimilados durante el llenado de grano. Por el contrario, los genotipos semidentados fueron más susceptibles frente a estas modificaciones, lo que resultó en mayores cambios en los atributos nombrados anteriormente.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se puede inferir que una disminución en la cantidad de asimilados por grano durante el periodo de llenado de los granos de maíz tiene un impacto negativo en el peso de los granos, en la composición de los granos, en la concentración de carotenoides y en el color de harina. Dicho impacto es más importante en los genotipos de grano semidentados que en los genotipos flint.

La respuesta a los cambios en la cantidad de asimilados por grano durante el llenado no afectaron diferencialmente la respuesta de la concentración de aceite y proteína para cada tipo de grano. Sin embargo, los genotipos semidentados presentaron mayores cambios en la concentración de almidón ante modificaciones en la cantidad de asimilados por grano en comparación a los genotipos flint.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a GR Rodriguez por prestarnos el colorímetro. El estudio fue financiado por el CONICET (PUE 22920160100043).

Bibliografía

- Abdala, L.J.; Gambin, B.L.; Borrás, L. (2018). Sowing date and maize grain quality for dry milling. *Europ. J. Agron.* 82, 1-8.
- Abendroth, L.J.; Roger, W.E.; Matthew, J.B.; Marlay, S.K. (2011). *Corn growth and development*. Iowa State University Extension, Ames, Iowa.
- Bao, J.S.; Cai, Y.Z.; Sun, M.; Wang, G.Y.; Corke, H. (2005). Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. *J. Agric. Food Chem.* 53, 2327-2332.
- Biehler, E.; Mayer, F.; Hoffmann, L.; Krause, E.; Bohn, T. (2010). Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruit and vegetables. *J. Food Sci.* 75, 55-61.
- Blessin, C.W.; Brecher, J.D.; Dimler, R.J. (1963). Carotenoids of corn and sorghum. 5. Distribution of xanthophylls and carotenes in hand-dissected and dry-milled fractions of yellow dent corn". *Cereal Chem.* 40, 582-586.
- Borrás, L.; Curá, J.A.; Otegui, M.E. (2002). Maize kernel composition and postflowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 42, 781-790.
- Brun, E. L.; Dudley, J. W. (1989). Breeding potential in the USA and Argentina of corn populations containing different proportions of flint and dent germplasm. *Crop Sci.* 29, 570-577.
- Caballero-Rothar N.N.; Abdala, L.J.; Borrás L.; Gerde, J.A. (2019). Role of yield genetic progress on the biochemical determinants of maize kernel hardness. *Journal of Cereal Science* 87, 301-310.
- Saenz, E.; Abdala, L.J.; Borrás, L.; Gerde, J.A. (2020). Maize kernel color depends on the interaction between hardness and carotenoid concentration. *J Cereal Sci.* 91-102901.
- Cirilo, A.G.; Actis, M.; Andrade, F.H.; Valentinuz, O.R. (2011). Crop management affects dry-milling quality of flint maize kernels. *Field Crops Res.* 122: 140-150.
- Gerde, J. A.; Spinozzi, J. I.; Borrás, L. (2017). Maize kernel hardness, endosperm zein profiles, and ethanol production. *BioEnergy Res.* 10, 760-771.
- Gerde, J. A.; Tamagno, S.; Di Paola, J. C.; Borrás, L. (2016). Genotype and nitrogen effects over maize kernel hardness and endosperm zein profiles. *Crop Sci.* 56, 1225-1233.
- Mathias-Rettig, K.; Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 42(2), 57-66.
- Saenz, E.; Borrás, L.; Gerde, J.A. (2021). Carotenoid profiles in maize genotypes with contrasting kernel hardness. *J Cereal Sci.* 99-103206.
- Tamagno, S.; Greco, I.A.; Almeida, H.; Di Paola, J.; Martí-Ribes, F.; Borrás, L. (2016). Crop management options for maximizing maize kernel hardness. *Agron. J.* 108, 1561-1570.
- Uhart S., and F. Andrade. (1991). Source-sink relationship in maize grown in a cool temperate area. *Agronomie* 11:863-875.
- Zilic, S.; Serpen, A.; Akilloğlu, G.; Gokmen, V.; Vancetovic, J. (2012). Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *J. Agric. Food Chem.* 60, 1224-1231.