

Artículo de divulgación

Uso de fertilizantes y dureza y concentración de Zn en granos de maíz de tipo flint

Zbinden, F.N.¹; Abdala, L.J.¹; Vitantonio-Mazzini, L.N.¹; Manavella, A.²; Elias, G.²; Borrás, L.^{1,*}

¹Cátedra de Sistemas de Cultivos Extensivos
Facultad de Ciencias Agrarias – UNR

²Yara Argentina S.A.

*lberras@unr.edu.ar

Introducción

La calidad óptima requerida para cualquier grano depende del destino que tenga. La industria de la molienda seca exige un grano que rinda grandes proporciones de fracciones gruesas que son en general destinados a la elaboración de copos de desayuno, a la industria cervecera, sémolas para alimentación humana y harinas diversas. El maíz colorado duro (también denominado maíz plata o flint) reúne esas cualidades. Es el maíz tradicional de la Argentina (Abdala et al., 2018b), y se fragmenta en trozos de granulometría más alta que el maíz dentado. Es tarea de todos los integrantes de la cadena de suministro el mejorar la competitividad de este tipo de maíz, mejorar la genética, utilizar las mejores prácticas agrícolas en términos de fertilización, siembra, cosecha, y optimizar el tratamiento post-cosecha para conseguir un producto de alta calidad e idoneidad para la industria.

Es un desafío mejorar las prácticas en fertilización incluyendo no solo macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio), sino también micronutrientes (zinc, boro, cobre, cloro, hierro, molibdeno, entre otros). El zinc desempeña un papel esencial para la salud humana. Es vital para el crecimiento, el desarrollo del cerebro, la protección de la piel, el buen funcionamiento del sistema inmunológico, la digestión, la reproducción, el gusto, el olfato y muchos de otros procesos naturales. Nuestro cuerpo no puede sintetizar el zinc que necesita, por eso es necesario consumirlo en la dieta. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda 10 mg día⁻¹ de zinc para los niños, 12 mg día⁻¹ para las mujeres y 15 mg día⁻¹ para los hombres. Debido al uso de maíz flint para consumo humano, sea en copos de desayuno o polenta, cobra especial relevancia conocer su calidad en términos de concentración de Zn.

El objetivo del presente experimento fue evaluar cambios en la calidad del maíz para la molienda en seco (fundamentalmente dureza de grano) y concentración de zinc en grano luego de diferentes tratamientos con fertilizantes sólidos y líquidos que aportan otros nutrientes además de nitrógeno.

Materiales y métodos

Los experimentos se llevaron a cabo en el Campo Experimental Villarino, Zavalla, Santa Fe. Los experimentos se manejaron con siembra directa, en parcelas de cuatro surcos de 6 m de largo y 0,52 m de espaciamiento entre hileras. El diseño experimental fue de cuatro bloques aleatorizados dentro de cada tratamiento. Las fechas de siembra fueron 6 de Noviembre (Noviembre) y 27 de Diciembre (Diciembre). En ambas fechas de siembra, la densidad fue la misma (7.5 pl m⁻²). Las parcelas se sembraron con alta densidad y se las raleó poco después de la emergencia (V1-V2). Las malezas, plagas y enfermedades fueron manejadas siguiendo las recomendaciones comerciales regulares para la región. Se usaron dos genotipos flint no OGM, NT426 y ACA514. Estos dos genotipos son muy conocidos, utilizados regularmente por la cadena de suministro de molienda en seco (Abdala et al., 2018a).

Los tratamientos de fertilizantes fueron: (Y0) control no tratado, (Y1) MAP con urea, (Y2) YaraMila Nitrocomplex Zar (N, P, K, S, Mg, Zn) con YaraBela Sulfan (N, Ca, S), y (Y3) YaraMila Nitrocomplex Zar (N, P, K, S, Mg, Zn) con YaraBela Sulfan (N, Ca, S) y con YaraVita Zintrac (Zn).

Todas las tasas de fertilización fueron apuntadas a alcanzar 190 kg ha⁻¹ de N (suelo 0-60 cm más fertilizantes). Las tasas fueron de 160 kg ha⁻¹ de MAP, 160 kg ha⁻¹ de YaraMila Nitrocomplex Zar, 86 kg ha⁻¹ de urea, 92 kg ha⁻¹ de YaraBela Sulfan, y 1 l ha⁻¹ de YaraVita

Zintrac. El MAP y el YaraMila Nitrocomplex Zar se aplicaron en la siembra, la urea y el YaraBela Sulfan se aplicaron en V5, y el YaraVita Zintrac en V14. Este último se aplicó con una mochila de CO₂ con 65 l ha⁻¹ de agua.

A madurez comercial, las dos hileras centrales de cada parcela se cosecharon manualmente y se usaron para determinar el rendimiento en grano, el peso de grano individual promedio y todos los demás rasgos fenotípicos. El rendimiento es presentado en una base de humedad del 14.5%. El peso de grano individual se determinó pesando dos muestras de 100 granos por parcela.

El peso hectolítrico, el porcentaje de flotación y la vitreosidad del grano se determinaron de acuerdo a los métodos aprobados por la Comisión Europea para las importaciones de maíz de endosperma duro (Comisión Europea, 1997) y SENASA (MAGyP, 2015).

Después de la homogenización de las muestras de granos, se determinó el peso hectolítrico (MAGyP, 2015) usando la Balanza Schopper (Cuenca, Rosario, Argentina). Los resultados se expresan como kg hl⁻¹. El valor mínimo de peso hectolítrico para un lote de maíz de endosperma duro flint es 76 kg hl⁻¹ (MAGyP, 2015). El maíz regular necesita para alcanzar 75 kg hl⁻¹ lograr la máxima calidad interna, que es menor al valor impuesto por la norma flint de SENASA para maíz de endosperma duro. El peso hectolítrico es el único rasgo físico exigido para el maíz regular.

El porcentaje de flotabilidad (%) se midió al colocar una muestra de 100 granos en una solución de NaNO₃ (densidad: 1.25 g cm⁻³) a 35 °C, y se agitó cada 30 segundos durante 5 minutos para eliminar las burbujas. Al final de este período de tiempo, se contaron los granos flotantes y se informaron como porcentaje. La prueba se realizó dos veces

por repetición de campo (Gerde et al. 2016). El porcentaje máximo de flotación para un lote de maíz para ser considerado flint es 25% (MAGyP, 2015).

Para determinar vitreosidad (%) se diseccionaron longitudinalmente 200 granos por parcela y se inspeccionaron visualmente. El porcentaje de granos que fueron no dentados en la corona, que tenían endosperma central amiláceo completamente rodeado por endosperma córneo, y que el endosperma córneo represente el 50% o más del endosperma se consideraron granos vítreos, y se informó como porcentaje relativo al número total de granos inspeccionados. Para que un lote de maíz particular se considere flint, el porcentaje de vitreosidad del grano debe estar por encima del 95%. Sin embargo, existe una tolerancia del 3% que establece el valor límite en 92% (MAGyP, 2015).

La retención de zaranda (la proporción de granos de más de 8 mm) se midió usando un agitador de tamiz Ro-Tap (Zonytest, Rey & Ronzoni, Argentina). Se colocó una muestra de granos de 100 g en la parte superior de un tamiz estándar apilable de orificios redondos de 8 mm. El peso de las muestras retenidas por el tamiz de 8 mm se determinó después de dos minutos de agitación y se informó como porcentaje (%). Esta prueba

también se realizó dos veces por repetición de campo (Tamagno et al., 2016). Los procesadores de molienda seca prefieren lotes de maíz con valores de retención de zaranda superiores al 50%.

La concentración de zinc se midió después de la extracción con ácido dietilentriamino-pentaacético (DTPA) y espectroscopía de absorción atómica.

Los datos se analizaron usando un modelo ANOVA general lineal en software R con paquete agricolae (R Core Team, 2016). Los efectos fijos evaluados fueron el genotipo (G), el tratamiento con fertilizante (T), la fecha de siembra (FS), y las interacciones G x T, G x FS, T x FS, y G x T x FS. Los componentes de varianza y la diferencia mínima significativa (LSD) de todos los rasgos evaluados se estimaron a partir del análisis ANOVA.

Resultados

El rendimiento se vio afectado por efecto del genotipo, el tratamiento con fertilizantes y fecha de siembra (Tabla 1). La fecha de siembra de Noviembre rindió 8,920 kg ha⁻¹, mientras que la de Diciembre fue de 7,850. ACA514 rindió 700 kg ha⁻¹ más que el NT426. Y los tratamientos Y1, Y2 e Y3 rindieron más que el control no fertilizado (Y0). No se observaron diferencias significativas

en el rendimiento entre los tres tratamientos con fertilizantes.

El peso hectolítrico mostró efectos significativos en cuanto al genotipo, tratamiento y fecha de siembra (p<0.058, Tabla 1), y hubo interacción significativa entre los tratamientos con fertilizantes y la fecha de siembra. La fecha de siembra de Noviembre tuvo valores de peso hectolítrico más altos (82.0 vs 79.5 kg hl⁻¹, respectivamente) y NT426 tuvo valores de peso hectolítrico más altos que ACA514 (81.0 vs., 80.5 kg hl⁻¹, respectivamente). En todos los casos los valores más altos de peso hectolítrico se observaron en los tratamientos Y2 e Y3, y en la segunda fecha de siembra, Y2 mostró diferencias significativas (interacción significativa en tratamiento x fecha de siembra; Tabla 2).

El índice de flotación no mostró diferencias entre genotipos, tratamientos con fertilizantes y fechas de siembra. Todos los valores estuvieron por debajo del 25%, mostrando los valores óptimos para la molienda en seco (Tabla 1).

En cuanto a vitreosidad, mostró diferencias de genotipo solamente, donde NT426 tenía valores más altos que ACA514 (97.9 frente a 92.8%, respectivamente). Aunque los tratamientos con fertilizantes no mostraron

Tabla 1: Rendimiento, peso hectolítrico, índice de flotación, vitreosidad, retención de zaranda 8mm, peso de grano individual, y concentración de zinc, para dos fechas de siembra (FS), dos genotipos (NT426 y ACA514), y cuatro tratamientos con fertilizantes (Y0: control no tratado; Y1: MAP y urea; Y2: YaraMila Nitrocomplex Zar y YaraBela Sulfan; Y3: YaraMila Nitrocomplex Zar con YaraBela Sulfan y con YaraVita Zintrac. * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001; ns: no significativo (p>0.05).

Fecha	Genotipo	Tratamiento	Rinde kg ha ⁻¹	Peso Hectolitrico kg hl ⁻¹	Indice de Flotación %	Vitreosidad %	Retención en Zarandas %	Peso de Grano mg grano ⁻¹	Zn ppm
Noviembre			8,920 a	82.0 a	10.0 a	95.9 a	33 a	241 a	25.1 a
Diciembre			7,850 b	79.5 b	8.0 a	94.8 a	17 b	224 b	21.6 b
	NT426		8,047 b	81.0 a	7.0 a	97.9 a	14 b	223 b	24.9 a
	ACA514		8,723 a	80.5 b	11.1 a	92.8 b	35 a	243 a	21.6 b
		Y0	7,750 b	80.3 b	10.3 a	93.6 a	24 a	228 a	21.5 bc
		Y1	8,580 a	80.4 b	10.9 a	95.8 a	25 a	233 a	21.1 c
		Y2	8,682 a	81.2 a	6.7 a	95.9 a	24 a	235 a	23.7 b
		Y3	8,529 a	80.9 ab	8.1 a	96.1 a	26 a	234 a	27.0 a
<i>Genotipo (G)</i>			**	*	ns	***	***	***	***
<i>Tratamiento (T)</i>			*	*	ns	ns	ns	ns	***
<i>Fecha de siembra (FS)</i>			***	***	ns	ns	***	***	***
<i>G x T</i>			ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
<i>G x FS</i>			ns	ns	ns	ns	***	ns	ns
<i>T x FS</i>			ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
<i>G x T x FS</i>			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

diferencias significativas ($p < 0.05$), los valores más altos se alcanzaron con Y2 e Y3.

La retención de zaranda (agujeros redondos de 8 mm) mostró una interacción significativa entre genotipo, fecha de siembra y genotipo x fecha de siembra. No se evidenciaron efectos de fertilizantes. La fecha de siembra Noviembre mostró valores más altos que la de Diciembre. ACA514 tuvo valores más altos que NT426 (Tabla 1), y la interacción significativa con la fecha de siembra resultó de las diferencias entre los genotipos cuando se comparan las fechas de siembra (Tabla 2).

El peso del grano individual mostró efectos de genotipo y fecha de siembra (Tabla 1), donde la fecha de siembra de Noviembre tuvo un mayor peso del grano que en Diciembre, y el genotipo ACA514 valores más altos que NT426. No se evidenciaron efectos de tratamientos con fertilizantes para peso de grano individual, pero una interacción significativa de genotipo x tratamientos con fertilizantes ($p < 0.05$) mostró que el tratamiento con fertilizante Y2 ayudó

a NT426 a alcanzar pesos de grano más altos (Tabla 2).

Por último, la concentración de zinc en el grano se vio afectada significativamente por fecha de siembra, genotipo y tratamientos con fertilizantes ($p < 0.001$; Tabla 1), y no se observaron interacciones significativas entre los efectos principales. La concentración de zinc en grano fue mayor en la fecha de siembra de Noviembre en comparación con la de Diciembre. Fue mayor en NT426 en comparación con ACA514. La mayor concentración de zinc se observó en Y3, y la menor se observó en Y0 e Y1. El tratamiento Y2 mostró un valor intermedio (21.5, 21.1, 23.7, 27.0 para Y0, Y1, Y2 e Y3, respectivamente). Como tal, los dos tratamientos de fertilización con zinc aumentaron la concentración de zinc del grano, con una gran respuesta después de la aplicación foliar en V14.

Conclusiones

Los tratamientos con fertilizantes afectaron el rendimiento y la calidad del grano.

Todos los tratamientos con fertilizantes aumentaron el rendimiento de manera similar cuando se compararon con el control no tratado.

En términos de dureza del grano, el peso hectolítrico aumentó por Y2 en la siembra de diciembre. No se evidenciaron cambios significativos para vitreosidad o índice de flotación en relación con los tratamientos con fertilizantes, aunque hubo una tendencia donde Y2 e Y3 siempre mostraron mejores valores.

La fertilización con zinc afectó significativamente la concentración de zinc del grano. Especialmente haciendo una aplicación foliar.

A pesar de diferencias genotípicas para muchos rasgos (rendimiento y calidad del grano), no se evidenció interacción significativa entre genotipo x tratamiento con fertilizantes para ningún rasgo analizado, mostrando que ambos genotipos siempre respondieron de manera similar.

Tabla 2: Descripción de interacciones significativas entre fecha de siembra x tratamiento para peso hectolítrico, fecha de siembra x genotipo para retención de zaranda, y genotipo x tratamiento para peso de grano individual. Letras distintas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). Y1: MAP y urea; Y2: YaraMila Nitrocomplex Zar y YaraBela Sulfan; Y3: YaraMila Nitrocomplex Zar con YaraBela Sulfan y con YaraVita Zintrac.

Fecha	Genotipo	Tratamiento	Peso Hectolitrico kg hl ⁻¹	Retención en Zarandas %	Peso de Grano mg grano ⁻¹
Noviembre		Y0	81.7 a		
		Y1	81.9 a		
		Y2	82.0 a		
		Y3	82.5 a		
Diciembre		Y0	79.0 c		
		Y1	79.1 c		
		Y2	80.6 b		
		Y3	79.4 c		
Noviembre	NT426			18.5 b	
	ACA514			46.6 a	
Diciembre	NT426			9.9 c	
	ACA514			18.5 b	
	NT426	Y0			213 c
		Y1			228 abc
		Y2			232 abc
		Y3			217 bc
		Y0			242 ab
	ACA514	Y1			238 abc
		Y2			239 ab
		Y3			251 a

Bibliografía

Abdala, L.J., Gambin, B.L., Borrás, L., 2018a. Sowing date and maize grain quality for dry milling. *European Journal of Agronomy* 92:1-8.

Abdala, L.J., Vitantonio-Mazzini, L., Gerde, J.A., Murtach, G., Martí Ribes, F., Borrás, L. 2018b. Dry milling grain quality changes in Argentinian maize genotypes released from 1965 to 2016. *Field Crops Research* 226:74-82.

European Commission, 1997. Commission Regulation (EC) No 641/97 of 14 April 1997 amending Commission Regulation (EC) No 1249/96 of 28 June 1996 on rules of application (cereals sector import duties) for Council Regulation (EEC) No 1766/92. *Off. J. Eur. Union* L 98, 15.4.1997, p. 2-8.

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 Science* 56:1225-1233.

Greco, I.A., Martí Ribes, I., 2016. Actualidad en producción, exportación y tendencias en nuestro uso del maíz Plata/Flint Argentino para el mercado Europeo. In: Borrás, L. (Ed.), *Optimizando el manejo del cultivo de maíz flint*. Editorial Tecnográfica 87 pgs.

Tamagno, S., Greco, I., Almeida, H., DiPaola, J.C., Martí Ribes, P., Borrás, L., 2016. Crop management options for maximizing maize kernel hardness. *Agronomy Journal* 108:1561-1570.

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO



El entorno en el que se encuentra nuestra Facultad; ubicada en el corazón de un parque de 100 has en la localidad de Zavalla, sin dudas transmite la tranquilidad y armonía necesaria para desarrollar de manera placentera las actividades académicas, facilitando el estudio y la creación.

La Planta Docente de Nuestra Facultad esta conformada por profesionales especialistas en permanente capacitación, quienes en su mayoría se dedican en forma exclusiva a las actividades académicas garantizando la actualización permanente de los contenidos ofrecidos a nuestros alumnos

Hemos desarrollado los Planes de Estudios de las carreras con una visión integradora implementando las prácticas - preprofesionales, trabajos a campo y prácticas de laboratorio como requisitos curriculares obligatorios con el fin de insertar en el medio, graduados con un alto conocimiento real de las problemáticas del mismo.

Ejes fundamentales de la Facultad:

**DOCENCIA**

Su objeto es la formación de profesionales con excelentes capacidades y conocimientos en las áreas básicas y aplicadas, que promueva el desarrollo del espíritu crítico y que cuente con herramientas para resolver situaciones en escenarios con multiplicidad de variables

**INVESTIGACIÓN**

Una actividad generadora de nuevos conocimientos, que actúa enriqueciendo en forma continua la formación de futuros profesionales y estimula la capacidad de diseñar, proyectar dar soluciones alternativas para el desarrollo regional y nacional.

**EXTENSIÓN**

Aspiramos a contribuir con el desarrollo regional y nacional promoviendo la aplicación del conocimiento en acciones concretas que involucren activamente a la comunidad en el análisis y solución de sus problemas.