

RESPUESTA DEL SORGO GRANÍFERO A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO, AZUFRE Y ZINC

Sebastián E. Bilbao¹, Manuel C. Ferrari^{2,3,*}, J. Andrés Llover^{2,3} y Luciano A. Rivoltella²
¹ Actividad privada; ² EEA-INTA Pergamino; ³ ECANA-UNNOBA; * Avda. Frondizi, km 4,5 (B2700WAA) Pergamino, Prov. de Buenos Aires, ferrari.manuel@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El sorgo granífero (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) tuvo una amplia difusión en Argentina, pero en las últimas décadas ha perdido competitividad frente a otras opciones agrícolas de verano. Debido a la abundante producción de rastrojo de alta perdurabilidad y a su denso sistema radical, una mayor inclusión de este cultivo en las rotaciones contribuiría a la sustentabilidad de los sistemas de agricultura continua a través de mejoras en el balance de la materia orgánica y en la estructura de los suelos.

La optimización del manejo de la nutrición, sobre la base de resultados experimentales probados que permitan realizar recomendaciones de fertilización correctas, posibilitaría incrementar la rentabilidad del cultivo y, en consecuencia, su posicionamiento frente a otras alternativas productivas. Sin embargo, la información sobre respuesta a la fertilización y sobre métodos de diagnóstico para los principales nutrientes que limitan los rendimientos de grano del sorgo granífero es aún escasa en algunas zonas del país.

Los objetivos de este trabajo fueron: a) Cuantificar los efectos de la fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn) sobre el rendimiento del sorgo granífero en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires, y b) Estudiar el grado de asociación de las respuestas del cultivo al agregado de dichos nutrientes con determinaciones analíticas de suelo y mediciones en planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en un establecimiento agropecuario de la localidad de Martínez de Hoz (Partido de Lincoln, Provincia de Buenos Aires), sobre un suelo Hapludol éntico, de textura franco arenosa. El lote tenía más de 15 años de agricultura continua, habiendo sido manejado bajo siembra directa continua durante los últimos 10 años. El cultivo antecesor al sorgo granífero fue trigo/soja de segunda, secuencia que dejó una muy buena cobertura de rastrojos.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 3,15 m de ancho (6 surcos a 52,5 cm entre sí) por 20 m de largo. Los tratamientos evaluados fueron:

- T: 0 (Testigo)
- PS: 25 kg P/ha + 18 kg S/ha

- NS: 180 kg N/ha + 18 kg S/ha
- NP: 180 kg N/ha + 25 kg P/ha
- NPS: 180 kg N/ha + 25 kg P/ha + 18 kg S/ha
- NPS+Zn: 180 kg N/ha + 25 kg P/ha + 18 kg S/ha + 1,3 kg Zn/ha

El N fue aplicado como urea granulada (46% N) al voleo en cobertura total al implantar el cultivo, el P como superfosfato triple (20% P) incorporado en banda a la siembra, el S como yeso agrícola (20,6% S) al voleo en cobertura total al implantar el cultivo, y el Zn mediante un producto líquido comercial (75% Zn, p/v) por vía foliar cuando el cultivo se encontraba con 10 hojas desplegadas.

El ensayo fue sembrado el 29/10 utilizando un híbrido de ciclo precoz (ADV 114) a una densidad de 18,5 semillas por m lineal en surcos distanciados a 52,5 cm entre sí. Las malezas fueron controladas convenientemente mediante la aplicación de herbicidas antes y después de la siembra, y lo propio se hizo con un ataque de insectos (pulgon) ocurrido en el período reproductivo, el que fue controlado eficazmente con insecticidas.

A la siembra del cultivo, en cada bloque se tomaron muestras compuestas de suelo (15 submuestras) de los espesores 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. En las muestras de la capa 0-20 cm se determinó: pH en agua, materia orgánica, N total, P extractable (Bray 1), N-nitratos (N-NO₃⁻), S-sulfatos (S-SO₄²⁻) y Zn-DTPA. En las muestras de 20-40 y 40-60 cm se hicieron análisis de N-NO₃⁻ y S-SO₄²⁻ solamente.

En el estado de 7-8 hojas desplegadas, en las parcelas de los tratamientos PS y NPS de los 4 bloques se tomaron nuevamente muestras compuestas de suelo (15 submuestras) del espesor 0-30 cm, a fines de determinar la concentración de N-NO₃⁻.

En dos momentos del ciclo del cultivo (7-8 hojas expandidas y 10 hojas expandidas) en las parcelas de los tratamientos PS y NPS de los 4 bloques se realizaron también mediciones del Índice de Verdor (IV) de las hojas utilizando un clorofilómetro Mi-

nolta SPAD-502. Las lecturas se tomaron en la última hoja desplegada de 15 plantas representativas por parcela, a 0,5 cm del borde y en el tercio central de la lámina.

La cosecha se realizó el 25/04 mediante la recolección manual de panojas, tomando 2 muestras de 5 m² cada una por parcela. Posteriormente, las panojas fueron desgranadas con una trilladora estacionaria, y los granos fueron pesados, determinándose también el contenido de humedad de los mismos con un higrómetro portátil para expresar los rendimientos corregidos a 13,5% de humedad.

La respuesta a los distintos nutrientes evaluados fue calculada como:

- Respuesta a N (kg/ha) = Rendimiento del tratamiento NPS (kg/ha) - Rendimiento del tratamiento PS (kg/ha)
- Respuesta a P (kg/ha) = Rendimiento del tratamiento NPS (kg/ha) - Rendimiento del tratamiento NS (kg/ha)
- Respuesta a S (kg/ha) = Rendimiento del tratamiento NPS (kg/ha) - Rendimiento del tratamiento NP (kg/ha)
- Respuesta a Zn (kg/ha) = Rendimiento del tratamiento NPS+Zn (kg/ha) - Rendimiento del tratamiento NPS (kg/ha)

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de la variancia, efectuándose las comparaciones de medias a través del test de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher con un nivel de significancia (α) de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones en el período de barbecho fueron escasas, pero las registradas durante el ciclo del cultivo (Siembra-Cosecha) totalizaron 698 mm, lo que permitió alcanzar niveles de rendimiento de grano relativamente elevados, oscilando los valores medios entre 7.914 y 9.897 kg/ha.

Los resultados de los análisis de las muestras de suelo tomadas a la siembra se presentan en la Tabla 1.

El efecto de los tratamientos de fertiliza-

ción sobre la productividad de grano fue altamente significativo ($p < 0,0001$; Tabla 2). Dentro de los nutrientes evaluados, se obtuvieron respuestas significativas ($p < 0,05$) al N (+714 kg/ha) y al P (+1.562 kg/ha), observándose sólo una tendencia a incrementar los rendimientos ($p > 0,05$) en el caso del S (+163 kg/ha) y del Zn (+318 kg/ha).

La respuesta conjunta al agregado de todos los nutrientes (N, P, S y Zn), calculada como la diferencia entre los rendimientos alcanzados con los tratamientos NPS+Zn y T, fue de +1.983 kg/ha ($p < 0,05$), lo que refuerza el concepto de que una adecuada y balanceada nutrición del cultivo puede efectivamente contribuir a elevar su productividad y, por lo tanto, también la competitividad frente a otras opciones estivales de producción de granos.

Respuesta al Nitrógeno y Herramientas de Diagnóstico Evaluadas

A partir de las concentraciones de N-NO₃⁻ detalladas en la Tabla 1 y de estimaciones de los valores de densidad aparente para cada profundidad, se determinó la dotación de N en el suelo (Ns; 0-60 cm), expresada en kg N/ha. El valor de Ns obtenido fue de 43,7 kg N/ha, el cual es considerablemente inferior a los umbrales críticos reportados en otros estudios realizados en el norte de Buenos Aires (144 kg N/ha; Ferrari et al., 2012), centro de Santa Fe (130 kg N/ha; Fontanetto et al., 2008, 2010) y distintas zonas de Entre Ríos (154 kg N/ha; Barbagelata et al., 2014). Ante la escasa disponibilidad de N inicial, era entonces esperable encontrar una respuesta marcada a este nutriente como la que luego fue registrada en el ensayo.

Las concentraciones de N-NO₃⁻ en el suelo a 0-30 cm de profundidad con el cultivo en 7-8 hojas expandidas arrojaron valores muy contrastantes y significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre los tratamientos PS y NPS (Figura 1).

El valor medio de N-NO₃⁻ en el suelo determinado en el tratamiento PS (3,8 mg/kg) es sensiblemente menor al nivel crítico encontrado por Ferrari et al. (2012) para sorgo granífero en estudios previos rea-

Tabla 2. Valores medios de rendimiento de grano de cada tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento de Grano ⁽¹⁾ (kg/ha)
T	7.914 a
PS	8.865 b
NS	8.017 a
NP	9.416 bc
NPS	9.579 c
NPS+Zn	9.897 c

⁽¹⁾ Letras distintas indican diferencias significativas (DMS; $p < 0,05$).

Tabla 1. Caracterización de las condiciones edáficas del sitio experimental y disponibilidad inicial de los nutrientes en evaluación (valores medios de los 4 bloques).

Profundidad (cm)	pH	Materia orgánica (%)	N total (%)	N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	P extractable (mg/kg)	S-SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	Zn (mg/kg)
0-20	6,15	2,66	0,139	13,8	10,1	8,1	0,78
20-40	-	-	-	1,8	-	6,1	-
40-60	-	-	-	1,1	-	5,4	-



lizados en el norte de Buenos Aires (16,7 mg/kg). También en este caso, la baja concentración de $N-NO_3^-$ anticipaba una alta probabilidad de respuesta al N, tal como posteriormente se comprobó al realizar la cosecha del ensayo. Por el contrario, la concentración medida en el tratamiento NPS (18,4 mg/kg) es superior al nivel crítico mencionado, lo que indica que el cultivo en estas parcelas no habría experimentado deficiencias de N.

Las determinaciones de IV realizadas con el clorofilómetro durante el ciclo del cultivo en las parcelas PS y NPS, mostraron un patrón diferente en los dos estados fenológicos evaluados. Así, en el estado de 7-8 hojas desplegadas, los valores medios de IV fueron relativamente similares en ambos tratamientos y no difirieron estadísticamente entre sí ($p>0,05$). En cambio, las lecturas tomadas con el cultivo en 10 hojas desplegadas presentaron una diferencia mayor y significativa ($p<0,05$) entre PS y NPS, lo que permitió detectar en forma certera la distinta condición de nutrición nitrogenada del cultivo en ambos tratamientos (Figura 2).

El aumento de la sensibilidad en etapas más avanzadas del cultivo que presentó el IV para reflejar diferencias en el estatus nitrogenado, había sido ya observada en trabajos anteriores realizados en el norte de Buenos Aires (Ferrari et al., 2012) y, sobre la base de dicho hallazgo, fue señalada la conveniencia de emplear esta herramienta de diagnóstico en el estado de 9-10 hojas en lugar del más temprano de 6-7 hojas desplegadas.

La efectividad que mostró el IV en este ensayo para distinguir cultivos con diferente nivel de nutrición nitrogenada en el estado de 10 hojas, difiere con los datos obtenidos en experimentos conducidos en el oeste de Buenos Aires (Barraco et al., 2016), en los cuales la utilización de este método en diferentes etapas del ciclo (6-7, 8-9, y 11-12 hojas desplegadas) no mostró resultados consistentes con los tratamientos de fertilización nitrogenada comparados, ni tampoco con los estados fenológicos del sorgo en los que se tomaron las lecturas, aún cuando se registraron respuestas al agregado de N. Por el contrario, en dos experimentos realizados en el centro-sur de Buenos Aires las mediciones de IV realizadas en 6 hojas desarrolladas mostraron diferencias significativas y muy marcadas entre tratamientos de fertilización nitrogenada (Zamora et al., 2016).

Respuesta al Fósforo y Nivel del Nutriente en el Suelo

El valor de P extractable determinado a la siembra (10,1 mg/kg; Tabla 1) se ubica por debajo del nivel crítico de 16 mg/kg establecido por García Lamothe y Quincke (2008) a partir de experiencias desarrolladas en Uruguay, y también es inferior al umbral de 15 mg/kg sugerido por la Universidad de Nebraska, Estados Unidos

Figura 1. Concentraciones medias de $N-NO_3^-$ en el suelo (0-30 cm de profundidad) en los tratamientos PS y NPS con el cultivo en 7-8 hojas expandidas. Valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas (DMS; $p<0,05$).

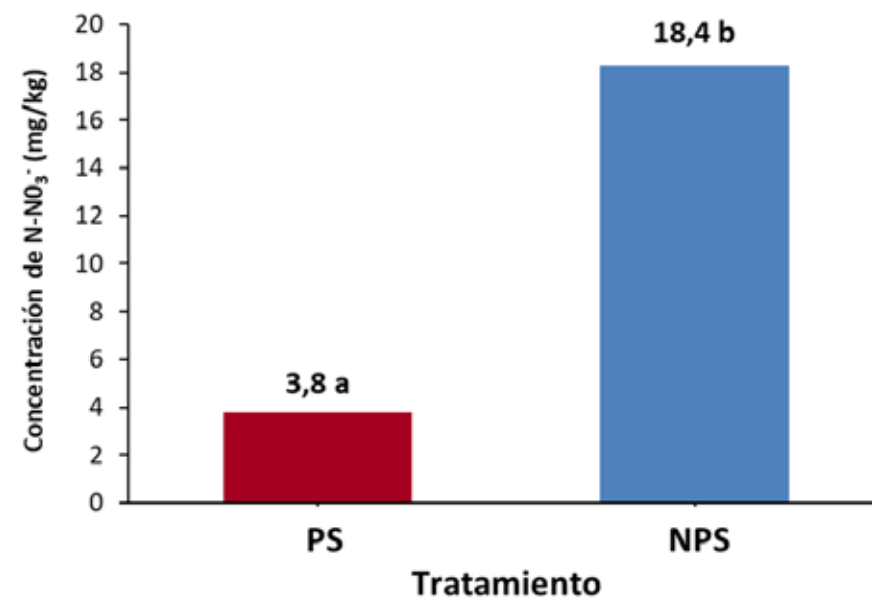
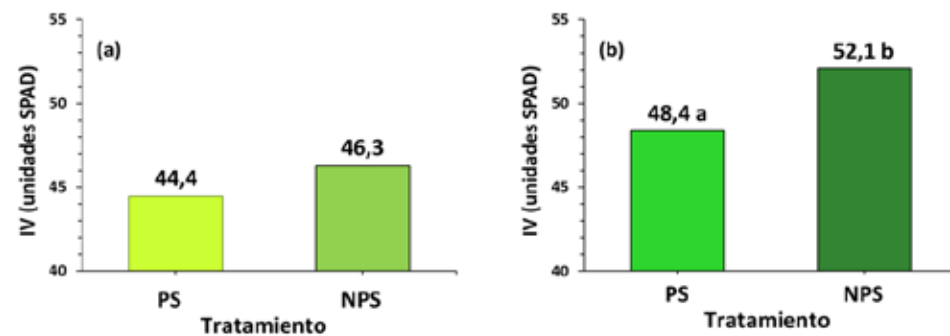


Figura 2. Valores medios de Índice de Verdor (IV) determinados en los tratamientos PS y NPS en dos estados fenológicos del cultivo: (a) 7-8 hojas expandidas, (b) 10 hojas expandidas. Para cada estadio, la ausencia de letras denota que no hubo efecto de tratamiento, mientras que valores seguidos de letras distintas indican diferencias significativas (DMS; $p<0,05$).



(Wortmann et al., 2013), para basar las recomendaciones de fertilización fosfatada del cultivo de sorgo en su área de influencia. Sobre la base de estos trabajos, era entonces predecible que con el nivel de P que tenía el suelo del sitio experimental la fertilización con este nutriente produjera un impacto positivo en el rendimiento de grano, tal como luego se verificó.

Respuesta al Azufre y Disponibilidad del Nutriente en el Suelo

La leve tendencia a incrementar el rendimiento de grano por la aplicación de S observada en el ensayo (+163 kg/ha; $p>0,05$) podría estar asociada a la relativamente buena disponibilidad inicial del nutriente que presentaba el suelo, en particular en la capa 0-20 cm (Tabla 1). Sin embargo, en trabajos publicados tanto en Argentina (Melin y Zamora, 2007) como en Estados Unidos (Whitney, 1998), se ha señalado la baja capacidad que muestran los análisis de suelo como único indicador para detectar deficiencias del nutriente y que, por lo tanto, los mismos resultan ser pobres predictores de la respuesta a la fer-

tilización azufrada. Por este motivo, es conveniente que al realizar el diagnóstico de requerimiento del nutriente se incluya también una caracterización del ambiente en el que se va a implantar el cultivo. Así por ejemplo, propiedades del suelo como bajo contenido de materia orgánica y textura gruesa (alto contenido de arena) aumentarían la probabilidad de que el S se encuentre en deficiencia. Contrariamente, algunos aspectos de manejo, como el riego con agua que presente una elevada concentración del nutriente, disminuirían la chance de que el cultivo responda a la fertilización azufrada.

Wortmann et al. (2013) propusieron para los suelos arenosos irrigados del estado de Nebraska (Estados Unidos) un esquema de recomendación de fertilización con S en sorgo granífero que considera los contenidos de $S-SO_4^{2-}$ y de materia orgánica del suelo, la concentración de $S-SO_4^{2-}$ en el agua y la localización del fertilizante a emplear (al voleo o en la línea de siembra). Para todas las combinaciones de niveles de materia orgánica, contenido de $S-SO_4^{2-}$ en el agua y localizaciones de la fuente azufrada, el esquema recomienda no fer-



GIRASOLES QUE
SUPERAN TODO

SUPER ERA
ADVANTANTA

ADV5310 CL | ADV5407 CL | ADV5505 CL



+ ACEITE
+ RINDE
+ ADAPTABILIDAD



Vista del ensayo próximo a la cosecha. A la izquierda, parcela del tratamiento NPS; a la derecha, parcela del tratamiento T.

tilizar cuando la concentración de $S-SO_4^{2-}$ en el suelo es superior a 8 mg/kg. Si este modelo de decisión fuera aplicable a las condiciones bajo las cuales se condujo el presente estudio, habría estado en consonancia con la muy escasa respuesta a S que se encontró aplicando el yeso agrícola al voleo, en un suelo franco arenoso, y con una disponibilidad de $S-SO_4^{2-}$ en el suelo (0-20 cm) de 8,1 mg/kg.

Respuesta al Zinc y Dotación del Nutriente en el Suelo

El valor medio de concentración de Zn en la capa 0-20 cm del suelo del ensayo fue de 0,78 mg/kg (Tabla 1). Esta dotación se encuentra dentro del rango de disponibilidad media del nutriente (0,5-1,0 mg/kg de Zn-DTPA) establecido por Whitney (1998) para sorgo granífero de secano en Kansas (Estados Unidos), y levemente por debajo del límite superior del nivel medio de disponibilidad (0,4-0,8 mg/kg de Zn-DTPA) propuesto por Wortmann et al. (2013) en Nebraska (Estados Unidos) para basar las recomendaciones de fertilización con este elemento. Si bien no se trata de trabajos locales, la información de ambos contribuiría a explicar el motivo por el cual en la presente investigación sólo se registró una tendencia discreta a aumentar el rendimiento de grano (+318 kg/ha; $p>0,05$) cuando el cultivo se fertilizó con Zn.

En Argentina no se dispone de una calibración de la respuesta del sorgo granífero a la fertilización con Zn en función de la concentración de este micronutriente en el suelo, pero esta herramienta sí ha sido desarrollada exitosamente para maíz. Para este cultivo, se ha establecido un nivel crítico de 1,0 mg/kg de Zn-DTPA en el espesor 0-20 cm del suelo que permite predecir adecuadamente la probabilidad de respuesta al agregado del nutriente (Barbieri et al., 2015). De acuerdo con Wortmann et al. (2013), sin embargo, la deficiencia de Zn

sería menos frecuente en sorgo granífero que en maíz.

CONCLUSIONES

La fertilización del cultivo de sorgo granífero con N, P, S y Zn en conjunto aumentó considerablemente (+25%) el rendimiento de grano. Individualmente, las aplicaciones de P y N, en ese orden, generaron las mayores respuestas productivas, mientras que el agregado de S y Zn mostraron sólo una tendencia a incrementar los rendimientos.

La respuesta a N mostró una clara asociación tanto con la dotación del nutriente en el suelo (0-60 cm) a la siembra, como con la concentración de N-nitratos en el suelo (0-30 cm) determinada cuando el cultivo presentaba 7-8 hojas desplegadas. Así, los bajos valores medidos para ambos indicadores permitieron predecir eficazmente el aumento de rendimiento debido al agregado de N. Las determinaciones del Índice de Verdor con un clorofilómetro portátil también demostraron ser útiles para anticipar correctamente la respuesta a este nutriente, especialmente cuando las mismas fueron realizadas en una etapa más avanzada del cultivo (10 hojas expandidas).

El nivel de P extractable en el suelo (0-20 cm) a la siembra fue una herramienta efectiva para diagnosticar las deficiencias de este nutriente, sobre cuya base pudo predecirse adecuadamente la respuesta a la fertilización fosfatada.

La tendencia a aumentar levemente el rendimiento de grano producida por la aplicación de S mostró una cierta asociación con la disponibilidad inicial del nutriente en la capa superficial del suelo (0-20 cm). Sin embargo, esta relación debería ser más y mejor investigada, incluyendo también en el diagnóstico variables de sitio y de manejo del cultivo que posibiliten

Determinación del Índice de Verdor en hoja con el clorofilómetro Minolta SPAD-502



Muestreo de suelo (0-30 cm de profundidad) para determinar la concentración de N-nitratos con el cultivo en 7-8 hojas desplegadas.



robustecer la predicción de la respuesta al nutriente.

La concentración de Zn en el suelo (0-20 cm) aparentó ser un buen instrumento de diagnóstico para inferir el discreto efecto positivo sobre el rendimiento de grano que generó el agregado de este micronutriente. No obstante, sería necesario realizar un mayor número de experimentos a fines de validar para las condiciones del noroeste bonaerense el nivel o rango crítico de Zn en el suelo para el cultivo de sorgo granífero.●

Bibliografía completa en www.horizonteediting.com

neogen

PARA QUIENES
BUSCAN DESAFIAR
LOS LÍMITES DE LA
PRODUCTIVIDAD



CONOCÉ NUESTRO PORTFOLIO DE SOJA

neo35S23 SE

neo40S22 SE

neo45S22 RR STS

neo46S22 SE

neo50S22 SE

neo50S23 RR STS

neo63S22 E

neo69S23 CE



www.neogensemillas.com