

Fertilización en sorgo en el norte y centro-oeste de Buenos Aires Rendimiento y eficiencia comparada al maíz

G.N. Ferraris¹, M. Barraco², L. Ventimiglia³, L. Couretot¹, y F. Moussegne¹

Introducción

El sorgo granífero (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) es una especie cuya adaptación ha permitido su amplia difusión en todas las regiones productivas. Si bien se acepta que expresa un gran potencial de respuesta a la fertilización, su eficiencia en el uso de nutrientes ha sido poco estudiada en Argentina, y se carece de metodologías de diagnóstico y rangos críticos que separen poblaciones de respuesta. Recientes trabajos indagan esta problemática (De Battista et al., 2010; Fontanetto et al., 2010; Zamora et al., 2010; Ferrari et al., 2012; Ferraris et al., 2012a). Reiteradamente se han utilizado recomendaciones validadas en otros cultivos como maíz sin evaluar la confiabilidad de este concepto, y aun más teniendo en cuenta que sorgo y maíz suelen ser cultivados en ambientes productivamente distintos.

En este trabajo se presentan los resultados de un ensayo de respuesta del cultivo de sorgo a la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), zinc (Zn) y boro (B) realizado en Pergamino (Buenos Aires) en la campaña agrícola 2012/13 ("Pergamino 2012"). Los resultados del ensayo Pergamino 2012 se integran con los de ensayos anteriores realizados en el norte y centro-oeste de Buenos Aires, para 1) lograr el ajuste de curvas de respuesta a dosis creciente de N y 2) la comparación con las respuestas a N observadas en maíz.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización en cultivos de sorgo. Pergamino. Campaña 2012/13.

Tratamientos de fertilización	
T0 - P ₀ N ₀	T5 - P _{20-Voleo} N ₁₂₀
T1 - P ₂₀ N ₀	T6 - P ₂₀ N ₄₀ S ₂₀
T2 - P ₂₀ N ₄₀	T7 - P ₂₀ N ₁₂₀ S ₂₀
T3 - P ₂₀ N ₈₀	T8 - P ₂₀ N ₁₂₀ S ₂₀ Zn _{0.4}
T4 - P _{20-Banda} N ₁₂₀	T9 - P ₂₀ N ₁₂₀ S ₂₀ Zn _{0.4} B _{0.15}

Tabla 2. Resultados del análisis del suelo del sitio experimental al momento de la siembra. Pergamino. Campaña 2012/13.

pH	MO	N total	P extractable Bray-1	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm	
Agua 1:2.5	----- %	-----	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	
----- 5.8 -----	2.53	0.125	6.6	50.1	5.7	
Mg	K	Ca	Zn	Mn	Fe	B
----- mg kg ⁻¹ -----						
225	579	1423	0.45	42.3	69.1	0.43

Materiales y métodos

Ensayo Pergamino 2012

En la campaña 2012/13 se realizó un experimento de campo en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Argiudol típico de alta productividad, serie Pergamino. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua, siendo el antecesor la secuencia trigo/soja de segunda. La siembra de sorgo se efectuó el 17 de octubre bajo siembra directa. El cultivar sembrado fue Advanta VDH 314.

El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con cuatro repeticiones y diez tratamientos de fertilización (**Tabla 1**). A la siembra del cultivo, se realizó un muestreo del suelo para análisis cuyos resultados se muestran en la **Tabla 2**. El nivel de N-nitratos a 0-60 cm fue medio a bajo, el de P Bray resultó bajo, así como también resultaron bajos los niveles de el S-sulfatos, Zn y B, por tanto se esperaba observar respuestas al agregado de estos cinco nutrientes.

En el estadio V6 (6 hojas desarrolladas) se cuantificó la materia seca acumulada en planta entera. En la floración del cultivo se midió el número de hojas fotosintéticamente activas, la altura final de plantas, y el vigor e índice verde por el clorofilómetro Minolta Spad 502. A la cosecha se determinó el rendimiento y sus componentes: número (NG) y peso (PG) de los granos. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias por el método LSD.

Las precipitaciones registradas durante el ciclo de cultivo fueron adecuadas, con un leve faltante a finales de enero cuando la ausencia de lluvias y altas temperaturas provocaron un agotamiento de las reservas (**Figura 1**). Las condiciones de luminosidad fueron apropiadas y, si bien acontecieron varios días de lluvia, esta circunstancia moderó las temperaturas, originando un cociente fototermal (Q) medio de 1.9.

Integración con experiencias anteriores y comparación de respuestas con maíz

Con la finalidad de ajustar curvas de respuesta a dosis crecientes de N y comparar las respuesta a N en sorgo con las observadas en maíz, se sumaron al análisis los resultados obtenidos en ensayos realizados con sorgo y maíz en General Villegas, Campaña 2010; 9 de

¹ UCT Agrícola. INTA EEA Pergamino. Correo electrónico: nferraris@pergamino.inta.gov.ar

² INTA EEA General Villegas.

³ INTA UEEA 9 de Julio.

Julio, Campaña 2010; y Pergamino, Campaña 2011; y con maíz en Pergamino, Campaña 2012 (datos no presentados).

Resultados y discusión

Ensayo Pergamino 2012

Los tratamientos de fertilización mejoraron diversos parámetros relacionados con el crecimiento como la acumulación inicial de materia seca, altura de planta y de hoja terminal, número de hojas verdes, vigor de planta e intensidad de verde (**Tabla 3**). Estas variables mostraron una fuerte correlación con los rendimientos. Se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos de diferentes tratamientos

($P=0.001$; $cv\ 10.2\%$). El cultivo expresó respuesta a N con efecto significativo de la dosis con respecto al Testigo (**Figura 2**), confirmando una tendencia regional (Ferraris et al., 2012a) (**Figura 3**).

Las diferencias entre la misma dosis de P en banda y al voleo ($T4 - P_{20-Banda} N_{120}$ vs $T5 - P_{20-Voleo} N_{120}$) no fueron significativas, pero la diferencia neta, de $880\ kg\ ha^{-1}$ a favor del tratamiento en banda, fue agrónomicamente relevante (**Figura 2**). El sitio experimental ocupa una posición elevada en el paisaje y bajo intensas precipitaciones como las observadas durante la primavera de 2012 sufre severos procesos erosivos. La erosión causada por las lluvias podría haber retirado parte del P aplicado en forma

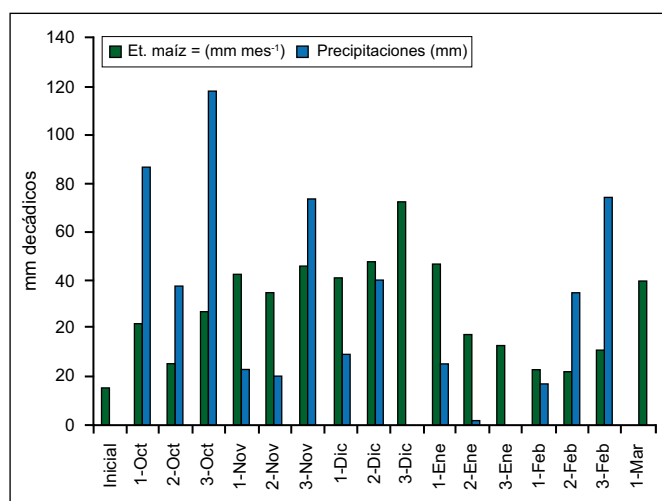


Figura 1. Precipitaciones y evapotranspiración decádicas acumuladas (mm) en Pergamino durante la campaña 2012/13. Agua disponible inicial en el suelo (200 cm) = 213 mm; Precipitaciones totales en el ciclo = 775 mm; Déficit acumulado de evapotranspiración = 16 mm.

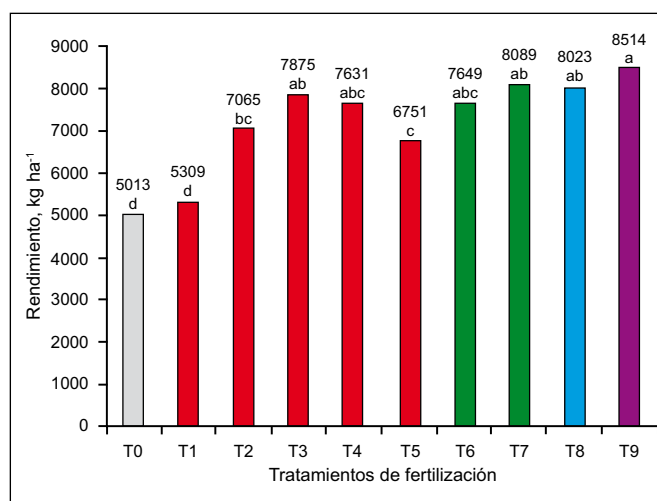


Figura 2. Producción de sorgo según tratamientos de fertilización (ver Tabla 1). Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Pergamino. Campaña 2012/13.

Tabla 3. Parámetros morfológicos de cultivo durante el periodo crítico: Materia seca inicial, hojas fotosintéticamente activas, altura de planta, altura de hoja bandera, índice de vigor e intensidad de verde (Unidades Spad). Para los tratamientos para el estudio Pergamino 2012. Índice de Vigor: 1 mínimo 5 máximo; E2: collar de 5^{ta} hoja visible; E6: floración según la escala de Vanderlip y Reeves (1972). R²: coeficiente de determinación estadístico de cada variables con el rendimiento. Ensayo Pergamino, Campaña 2012/13.

Tratamientos	Materia seca E2 kg ha ⁻¹	Hojas activas E6	Altura planta cm	Altura hoja bandera cm	Índice de vigor E6	Unidades Spad R2
T0 - P ₀ N ₀	1205	7.0	120.0	95.0	2.0	42.5
T1 - P ₂₀ N ₀	1405	7.3	137.5	92.5	2.5	47.0
T2 - P ₂₀ N ₄₀	1490	8.0	147.5	115.0	2.6	50.0
T3 - P ₂₀ N ₈₀	1530	7.9	155.0	115.0	3.0	49.3
T4 - P _{20-Banda} N ₁₂₀	1305	8.3	155.0	115.0	3.1	47.1
T5 - P _{20-Voleo} N ₁₂₀	1550	8.0	150.0	110.0	2.6	45.9
T6 - P ₂₀ N ₄₀ S ₂₀	1580	7.9	150.0	110.0	2.9	47.7
T7 - P ₂₀ N ₁₂₀ S ₂₀	1515	9.0	160.0	120.0	3.7	50.2
T8 - P ₂₀ N ₁₂₀ S ₂₀ Zn _{0.4}	1395	8.3	158.0	121.0	3.5	50.0
T9 - P ₂₀ N ₁₂₀ S ₂₀ Zn _{0.4} B _{0.15}	1550	8.5	150.0	115.0	3.4	45.2
R ² vs rendimiento	0.34	0.76	0.78	0.85	0.77	0.31

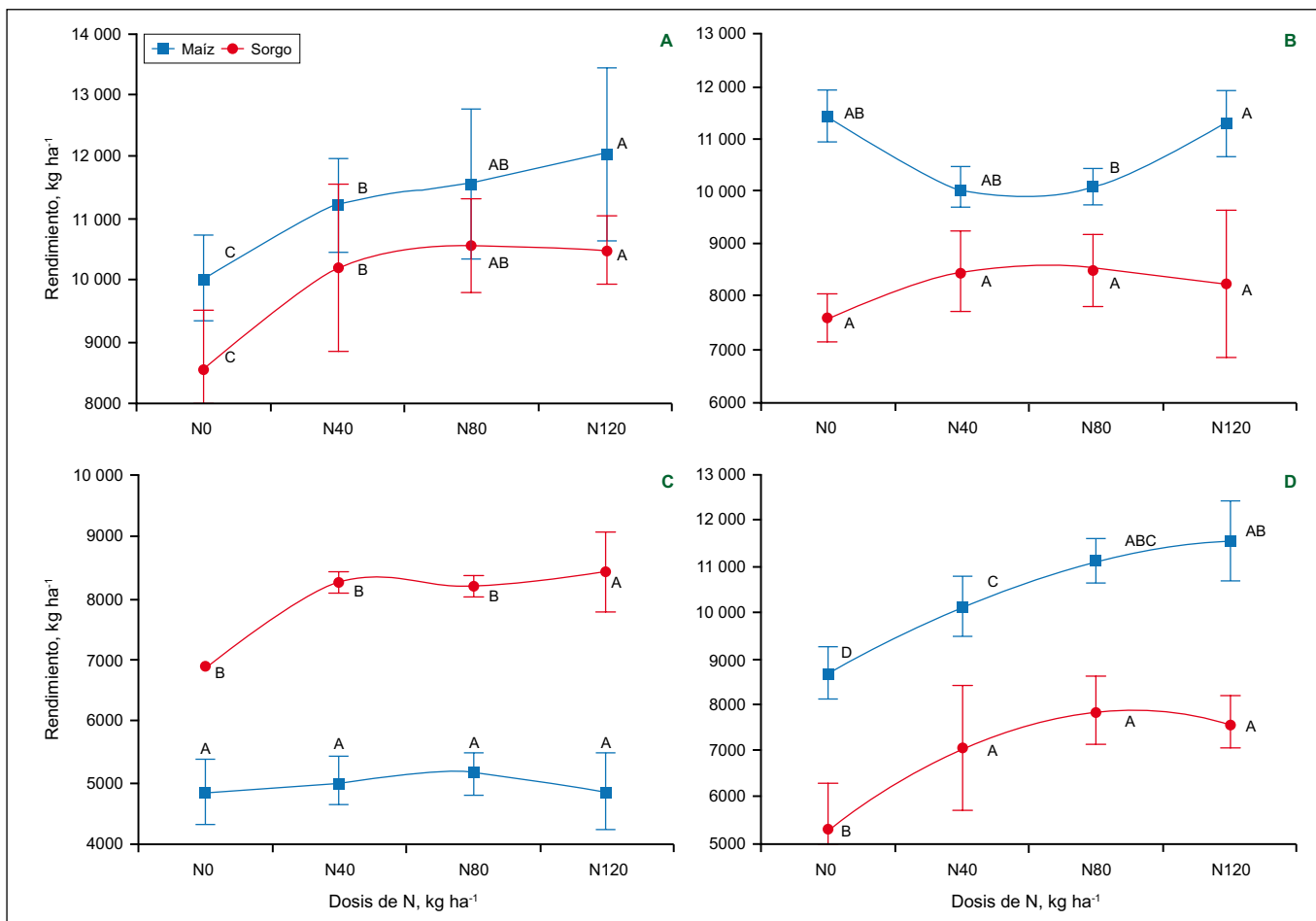


Figura 3. Rendimientos de maíz (kg ha^{-1}) (líneas azules) y sorgo (líneas rojas) según tratamientos de fertilización nitrogenada en A) General Villegas, Campaña 2010; B) 9 de Julio, Campaña 2010; C) Pergamino, Campaña 2011 (ambiente seco); y D) Pergamino, Campaña 2012. Dentro de cada sitio, letras distintas representan diferencias significativas en los rendimientos. Las barras de error indican la desviación estándar de la media.

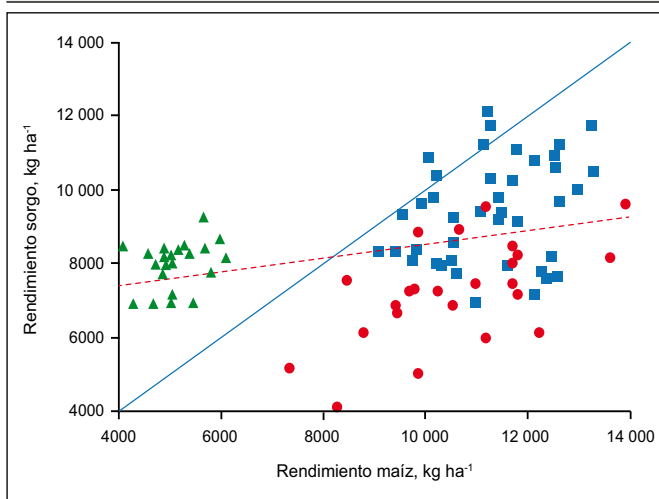


Figura 4. Relación entre los rendimientos de sorgo y maíz, en cuatro experimentos de fertilización conducidos en forma apareada. En verde rendimientos del sitio seco Pergamino 2011, en azul sitios medios 9 de Julio y General Villegas en 2010, y en rojo sitio húmedo Pergamino 2012. La línea azul indica la relación 1:1.

superficial, como sugiere Quintero (2013). Las diferencias por agregado de S fueron de 583 kg ha^{-1} (N_{40}) y de 459 kg ha^{-1} (N_{120}), y por el agregado de B ($T8 - P_{20} N_{120} S_{20} Zn_{0.4}$ - vs $T9 - P_{20} N_{120} S_{20} Zn_{0.4} B_{0.15}$ -) de 491 kg ha^{-1} , pero en ningún caso fueron significativas. Por el contrario, no se verificó

respuesta a Zn (Figura 2), lo cual había sido determinado en un experimento anterior por Ferraris et al. (2012b).

Integración con experiencias anteriores y comparación de respuestas con maíz

Bajo ambientes favorables como 9 de Julio 2010 (Figura 3A) o Pergamino 2012 (Figura 3D), el maíz incrementó sus rendimientos hasta niveles superiores de N, pero el sorgo mostró una respuesta estable al menos hasta la dosis más baja de N en todos los experimentos, aun con situaciones productivas desfavorables como la de Pergamino 2011 (Figura 3C).

Con los datos provenientes del experimento Pergamino 2012 y de los ensayos 9 de Julio 2010, General Villegas 2010 y Pergamino 2011, cuyos rendimientos fueron analizados por Ferraris et al. (2012a), se compararon los rendimientos según el ambiente de producción (Figura 4), y se estableció la relación entre rendimiento y N disponible (suelo 0-60 cm + fertilizante) para sorgo y maíz (Figura 5).

La relación entre los rendimientos de sorgo y maíz, se mantuvo alejada de la bisectriz 1:1 (Figura 4). Bajo un ambiente seco (Pergamino 2011), el sorgo alcanzó rendimientos superiores. Por el contrario, en Pergamino 2012 la media de los rendimientos fue de $10\,587 \text{ kg ha}^{-1}$ en maíz y 7270 kg ha^{-1} en sorgo, evidenciando el

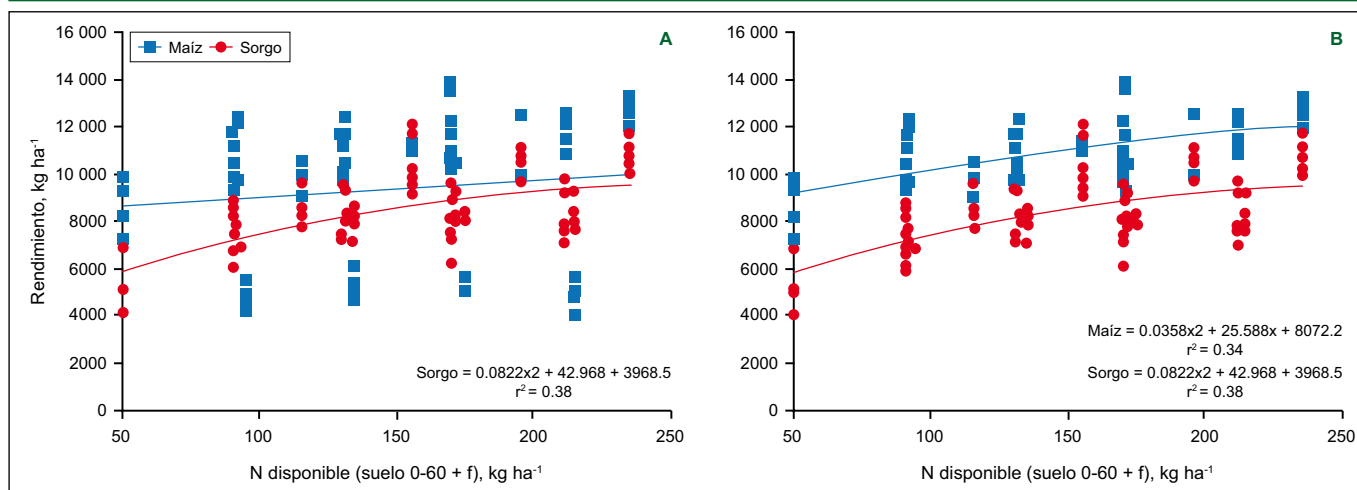


Figura 5. Relación entre los rendimientos de sorgo (rojo) y maíz (azul) en función de la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) provenientes de 4 experimentos realizados en las localidades de General Villegas 2010, 9 de Julio 2010, Pergamino 2011 y Pergamino 2012. A) Ajuste completo y B) ajuste exceptuando el experimento de Pergamino 2011.

mayor potencial del maíz con precipitaciones favorables. Cuando el rendimiento superó los 8196 kg ha⁻¹, el maíz mostró habilidad competitiva superior respecto del sorgo (Figura 4).

La relación entre rendimiento y N disponible mostró escasa pendiente y ajuste en maíz por la baja respuesta observada en el sitio extremadamente seco de Pergamino 2011 (Figura 5A). Si se excluyen los datos de maíz de este sitio, ambas especies presentan similar tendencia pero superiores rendimientos en el maíz (Figura 5B). Por el contrario, el sorgo demostró una respuesta estable en todos los sitios (Figura 5). Considerando precios de urea de 600 USD t⁻¹, de sorgo de 130 USD t⁻¹ y de maíz de 150 USD t⁻¹, las relaciones de precios N/sorgo y N/maíz son de 11.3 y 9.4, respectivamente. Para estas relaciones de precios, los ajustes de respuesta a N indican que la disponibilidad óptima económica de N a la siembra sería de 193 y 226 kg N ha⁻¹ para sorgo y maíz, respectivamente.

Conclusiones

- El ciclo agrícola 2012/13 se caracterizó por las condiciones ambientales favorables para la expresión de buenos rendimientos en gramíneas estivales.
- Como es de esperar en una gramínea bajo un buen ambiente hídrico, se determinó respuesta a la aplicación de elementos de alta movilidad como N, y se observaron tendencias de interés para S y B. Por el contrario, no se verificó respuesta ni tendencia favorable a Zn. Finalmente, se observaron ventajas agronómicas por la aplicación de P en banda, aunque no significativas.
- Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis que sugiere al sorgo como un cultivo de elevado potencial de respuesta a la fertilización, siempre que se sorteen limitantes severas a la productividad que condicionan una buena expresión de rendimiento. No obstante, el umbral de estrés que limita la respuesta a N sería superior al de otros cultivos más sensibles como maíz.

Bibliografía

- De Battista, J.J., A.C. Alaluf, N.M. Arias, y M. Castellá. 2010. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de sorgo granífero *Sorghum bicolor* (L.) Moench. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz y I Simposio Nacional de Sorgo, pp. 408-410. Rosario, Santa Fe, 17-19 de noviembre de 2010. AIANBA, Pergamino, Argentina.
- Ferrari, M., L.A. Rivoltella, L.A., y J.M. Casado. 2012. Diagnóstico de fertilidad y estrategias de fertilización nitrogenada en sorgo granífero. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Comisión III. Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. AACS y SLCS. Mar del Plata, Abril 2012.
- Ferraris, G.N., M. Barraco, L. Ventimiglia, L. Couretot, G. Magnone, W. Miranda, C. Scianca, y F. Mousegne. 2012a. Rendimiento, respuesta a nitrógeno - azufre y eficiencia de uso de nutrientes en maíz y sorgo en el norte-centro-oeste de Buenos Aires. II Simposio Nacional de Sorgo. Un cultivo perfecto. Pergamino, 1 y 2 de Agosto de 2012.
- Ferraris, G.N., L. Couretot, G.G. Anta, y G. Magnone. 2012b. Tratamientos de semilla con microorganismos promotores de crecimiento (PGPM) y micronutrientes en sorgo *Sorghum bicolor* (Linn.). Efectos sobre el crecimiento y la productividad. II Simposio Nacional de Sorgo. Un cultivo perfecto. Pergamino, 1 y 2 de Agosto de 2012.
- Fontanetto, H., O. Keller, L. Belotti, C. Negro, y D. Giailevra. 2010. Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero (campana 2008/09). *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 46:21-23.
- Quintero, C. 2013. Manejo de nutrientes en Entre Ríos. pp. 118-124. En: Actas Simposio de Fertilidad 2013. "Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable. IPNI Cono Sur – Asociación Civil Fertilizar. Rosario, Mayo de 2013.
- Vanderlip, R. L. y H. E. Reeves. 1972. Growth stages of sorghum [*Sorghum bicolor*, (L.) Moench.]. *Agronomy Journal* 64:13-17.
- Zamora, M., A. Melin, y S. Balda. 2010. Fertilización con nitrógeno y azufre en sorgo granífero en el centro de Buenos Aires. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz y I Simposio Nacional de Sorgo, pp. 444-446. Rosario, Santa Fe, 17-19 de noviembre de 2010. AIANBA, Pergamino, Argentina. 🌱