

Producción forrajera con aplicación otoñal de fertilizantes nitrogenados en avena y en agropiro

María A. Marino¹ y Jorge Castaño²

Introducción

El manejo del nitrógeno (N) es un aspecto clave cuando se pretende avanzar hacia la sustentabilidad productiva y ambiental en los agro-ecosistemas. En la región pampeana de Argentina, la disponibilidad de las formas de N inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-) disminuye en la época fría del año (Echeverría y Bergonzi, 1995), lo que restringe la producción de forraje. Existe abundante información que demuestra que la fertilización nitrogenada permitiría atenuar estas deficiencias. Sin embargo, la mayoría de los trabajos cuantifican la respuesta al N agregado a la salida del invierno, momento en el cual se registran las mayores respuestas a dicho nutriente (Mazzanti et al., 1997; Marino et al., 2004; Barbieri et al., 2006; Agnusdei et al., 2010).

El N es un nutriente lábil, susceptible a pérdidas como volatilización, desnitrificación o lixiviación, y la magnitud de las mismas, cuando se realiza una fertilización nitrogenada, está relacionada principalmente con la formulación del fertilizante, las condiciones climáticas y las características del suelo. A modo de ejemplo, en pasturas implantadas en suelos bajos ganaderos del sudeste bonaerense se registraron pérdidas de hasta más del 30% del N aplicado en otoño bajo la forma de urea (Barbieri et al., 2006).

En general, la ganadería está siendo desplazada hacia áreas con limitaciones productivas, no aptas para el desarrollo de cultivos agrícolas. Sin embargo, sistemas mixtos que incluyen actividades agrícolas y ganaderas mantienen una proporción de cultivos forrajeros y pasturas en suelos agrícolas. Esta diversidad de ambientes debería ser considerada al momento de planificar las estrategias de fertilización.

Por otra parte, en la actualidad existen fertilizantes nitrogenados cuyas formulaciones podrían atenuar las pérdidas por volatilización y así aumentar la eficiencia de uso del N (EUN) aplicado. Sin embargo, la información disponible se ha generado fundamentalmente en

cultivos agrícolas siendo escasa la existente para recursos forrajeros en el sudeste de la provincia de Buenos Aires.

El objetivo del trabajo fue cuantificar el efecto del N aplicado al inicio de otoño (época cuando se registran condiciones ambientales predisponentes para que ocurran pérdidas por volatilización de N-NH_3) bajo formulaciones amoniacales y amídicas, sin y con inhibidor de la nitrificación, sobre la acumulación otoño-inverno-primaveral (O-I-P) de forraje en recursos forrajeros que se desarrollan en ambientes contrastantes: verdeo de avena (suelo agrícola) y pastura de agropiro (*Thinopyrum ponticum*; suelo ganadero). Este tipo de información permitirá avanzar en la planificación de estrategias de fertilización nitrogenada tendientes a aumentar la eficiencia de su uso en la producción de forraje y reducir las pérdidas al ambiente en los sistemas ganaderos.

Materiales y métodos

Los ensayos se establecieron en marzo de 2011 en la EEA INTA Balcarce (Buenos Aires), en dos ambientes contrastantes, en un cultivo de avena implantado en suelo de aptitud agrícola sin limitantes edáficas, y en una pastura de agropiro establecida en un suelo de aptitud ganadera con severas restricciones para el crecimiento de las plantas. Las características edáficas de ambos lotes se presentan en la **Tabla 1**.

Las condiciones climáticas registradas en el período febrero-octubre de 2011 (**Figura 1**), fueron comparadas con las del promedio histórico 1970-2010 para esos meses. Se pudo comprobar que, durante 2011, las temperaturas medias diarias manifestaron una leve superioridad y las precipitaciones fueron sustancialmente (39%) inferiores al promedio histórico 1970 – 2010 (387 vs 631 mm, respectivamente).

En los días próximos a las fechas de fertilización, las condiciones climáticas fueron predisponentes para el proceso de volatilización del N como amoníaco (NH_3).

Tabla 1. Contenido de materia orgánica (MO), fósforo extractable (Pe, Bray-1) y pH en los primeros 20 cm del perfil de suelo para los experimentos de avena y agropiro.

..... Avena Agropiro			
Suelo	MO %	pH	Pe ppm	Suelo	MO %	pH	Pe ppm
Argiudol típico	4.4	5.2	45	Natracuol típico	5.8	9.2	12

¹ Facultad de Ciencias Agrarias: Correo electrónico: amarino@balcarce.inta.gov.ar

² EEA INTA Balcarce.

* Trabajo presentado en el Simposio Fertilidad 2013: Nutrición de Cultivos Para la Intensificación Productiva Sustentable. 22-23 Mayo 2013. Rosario, Argentina.

En ninguno de los dos experimentos se registraron precipitaciones significativas en los cinco días posteriores a la fertilización nitrogenada.

En ambos experimentos se utilizó un diseño experimental en bloques con parcelas aleatorizadas, donde cada unidad experimental midió 1.5 m de ancho por 5 m de largo.

Al inicio de cada periodo de evaluación (28/02/2011 para agropiro y 30/03/2011 para avena) se aplicaron 20 kg ha⁻¹ de P (para evitar su deficiencia). Inmediatamente después se aplicaron los tratamientos de N que fueron: 0 (0N), 75 (75N) y 150 kg ha⁻¹ de N (150N) bajo la forma de urea granulada, 46-0-0(F1), UAN líquido, 32-0-0 (F2), nitrato de amonio calcáreo granulada 27-0-0 (F3) , y urea granulada, 46-0-0 con inhibidor enzimático (F4).

En cada período de crecimiento se realizaron cosechas del forraje acumulado, utilizando una motosegadora automotriz con la que se recolectó el forraje presente en el metro central de cada parcela dejando un remanente de 5 cm de altura. Del material cosechado, se extrajo una alícuota que se pesó y luego se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante con la cual se determinó el contenido de materia seca (MS).

Se cuantificó la cantidad de material remanente posterior a la cosecha cortando una muestra a nivel del suelo de 0.1 m². A partir de la acumulación de forraje cuantificada se estimó la eficiencia aparente de uso del fertilizante aplicado, como la relación entre el incremento de forraje acumulado con cada tratamiento fertilizado (kg MS ha⁻¹ tratamiento fertilizado – kg MS ha⁻¹ 0N) y la dosis de N aplicada.

Los resultados fueron analizados por ANVA (Proc GLM de SAS). La cuantificación estacional de forraje producido fue analizada estadísticamente como mediciones repetidas en el tiempo y se compararon las diferencias entre medias por el Test de Duncan ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

No se registraron interacciones significativas entre los factores fuente de N y dosis de N aplicada, por lo tanto se analizó separadamente el efecto de cada uno de ellos sobre la producción estacional de forraje en la pastura de agropiro y en el verdeo de avena.

Fuentes nitrogenadas

Las respuestas al agregado de los fertilizantes nitrogenados en otoño difirieron según el experimento considerado. Para la pastura de agropiro, la producción de forraje no difirió entre fuentes de N aplicadas en ninguno de los tres periodos de crecimiento evaluados (**Tabla 2**). La producción acumulada de forraje durante el ciclo otoño-invierno-primavera promedio para las fuentes nitrogenadas fue de 5628 kg MS ha⁻¹.

Barbieri et al. (2006) han encontrado elevadas pérdidas por volatilización de N aplicado en forma de urea en

ambientes semejantes al de la pastura de agropiro. Sin embargo, en el presente experimento la producción de forraje no reflejó posibles diferencias entre fuentes nitrogenadas en la disponibilidad de N para las plantas.

En cambio en el verdeo de avena, a excepción del primer período de rebrote, la producción forrajera difirió entre los fertilizantes nitrogenados. En el segundo periodo de rebrote, la producción de forraje de avena con F1 fue significativamente inferior a F3 y F4, y en el último período de rebrote, F1 fue significativamente menor a F2, F3 y F4 (**Tabla 2**). Para esta especie, la producción acumulada otoño-invierno-primaveral de forraje para F1 fue de aproximadamente 4000 kg MS ha⁻¹, mientras para las restantes fuentes evaluadas se cuantificaron valores promedio próximos a 5000 kg MS ha⁻¹.

Las diferencias halladas entre los dos experimentos en la respuesta a la aplicación otoñal de los fertilizantes nitrogenados, podrían atribuirse por una parte a disimilitudes en las propiedades edáficas. En una campaña con precipitaciones inferiores al promedio histórico, como se registró en el año 2011 (**Figura 1**), las características del suelo ganadero (elevado pH, alto contenido de arcillas y de NaCO₃, drenaje deficiente) habrían restringido la producción de forraje sobre todo en el otoño cuando se registró una severa deficiencia hídrica (Vázquez et al., 2000).

Por otro lado, agropiro es una especie forrajera perenne que desarrolla un profundo y extenso sistema radical, lo cual le confiere la capacidad de utilizar eficientemente los recursos que ofrece el suelo (básicamente agua y nutrientes). Esta característica habría favorecido la captura del N disponible proveniente tanto de la mineralización como del N aplicado con los fertilizantes, independientemente de la formulación de estos últimos.

En el experimento de avena, el suelo agrícola no presentaba las limitantes al crecimiento de las plantas mencionadas para el suelo ganadero. Sin embargo, por su condición de cultivo anual, las plantas de avena presentan un sistema radical menos desarrollado en profundidad y con menor exploración del perfil de suelo que la pastura de agropiro. Esto determina que el crecimiento de las plantas esté en gran medida controlado por la disponibilidad de recursos (agua y nutrientes) en el horizonte superficial. Como se puede observar en la **Tabla 2**, F1 presentó menores acumulaciones de forraje en los tres periodos de rebrote evaluados, aunque las diferencias fueron estadísticamente significativas sólo en el segundo y tercero. Esto podría asociarse con mayores pérdidas desde el fertilizante amónico con respecto a las restantes fuentes de N, lo que habría reducido su disponibilidad de N para el verdeo de avena. Es posible que, diferencias en la disponibilidad de N en el estrato superficial por efecto de la aplicación de los fertilizantes nitrogenados, se hubieran reflejado en la captura del nutriente y, por consiguiente, en la acumulación de forraje obtenida (**Tabla 2**). En este sentido, Fontanetto et

al. (2008) registraron diferencias significativas entre fuentes nitrogenadas en el cultivo de avena. Mayores producciones de forraje fueron cuantificadas cuando el N se aplicó bajo la forma de UAN que con urea.

Dosis de N aplicado

A excepción del periodo de crecimiento otoñal en agropiro, en ambos experimentos la acumulación de forraje cuantificada para los tratamientos con P y ON fue significativamente inferior a las establecidas para los tratamientos con fertilización P+N. Así, en agropiro el tratamiento sin agregado de N mostró acumulaciones de forraje que representaron el 81%, 46% y 63% de las acumulaciones obtenidas para los tratamientos con N, para el crecimiento de otoño, invierno y primavera, respectivamente. La baja respuesta a la disponibilidad

de N en el primer periodo de rebrote podría atribuirse a la restricción al crecimiento de agropiro ocasionada por la deficiencia hídrica otoñal (**Figura 1**).

En avena, la limitación al crecimiento por deficiencia de N fue mayor sobre todo durante el rebrote invernal, con valores para ON que fueron de 41%, 24% y 62% para el primer, segundo y tercer período de rebrote, respectivamente (**Tabla 2**).

Para el crecimiento invernal e invierno-primaveral, se detectaron diferencias significativas entre las dosis de 75 y 150 kg N ha⁻¹ tanto en pasturas de agropiro como en verdes de avena (**Tabla 2**). Esto puede atribuirse a que durante ese período se registran valores mínimos de N edáfico, insuficientes para abastecer la demanda de las plantas (Echeverría y Bergonzi, 1995).

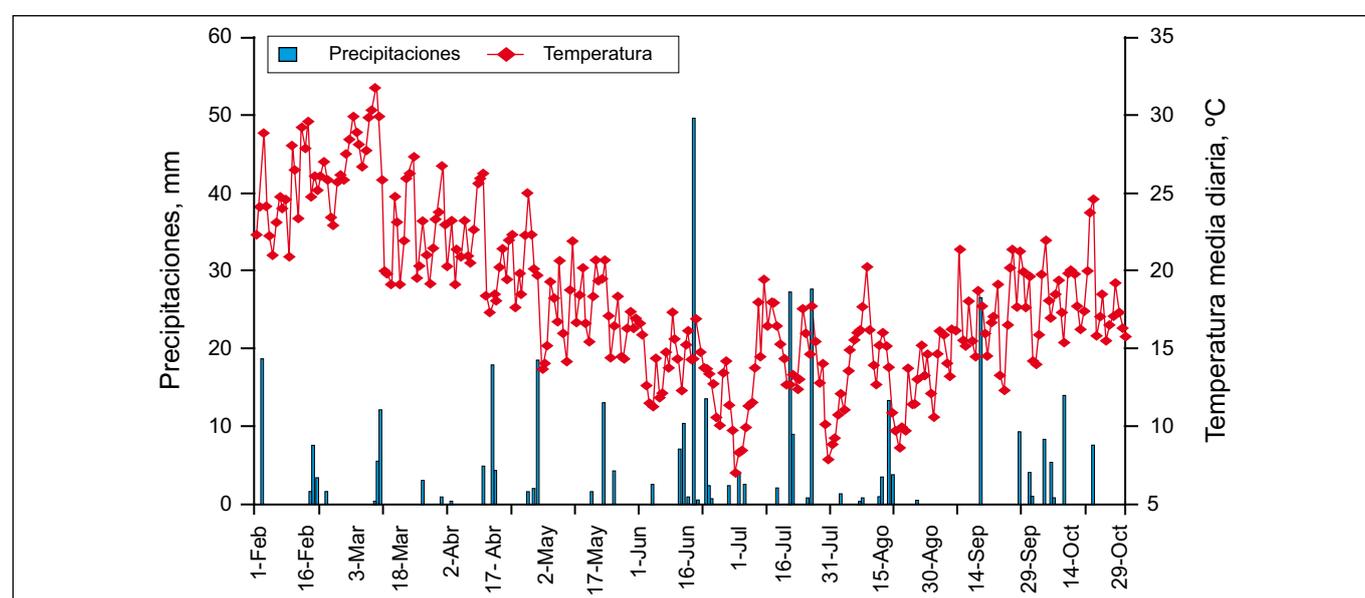


Figura 1. Temperaturas medias diarias y precipitaciones registradas en el período enero – octubre 2011. Fuente: Agrometeorología EEA INTA Balcarce.

Tabla 2. Rendimiento estacional de forraje (kg MS ha⁻¹) en los experimentos de avena y de agropiro para las fuentes nitrogenadas y las dosis de N evaluadas. Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0.05).

Fuente	Agropiro			Avena		
	28/02 al 04/05	05/05 al 03/11	04/11 al 27/12	30/03 al 28/06	29/06 al 22/09	23/09 al 03/11
F1	1372	1716	2333	1709	1342 b	972 b
F2	-	-	-	1926	1470 ab	1405 a
F3	1406	1884	2460	1844	1779 a	1345 a
F4	1350	1970	2393	1822	1839 a	1353 a
valor-p	0.948	0.400	0.679	0.709	0.052	0.013
Dosis N						
ON	1250	1191 c	1803 c	992 c	597 c	906 b
75N	1344	1808 b	2500 b	2062 b	1702 b	1469 a
150N	1533	2572 a	2882 a	2422 a	2524 a	1431 a
valor-p	0.267	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Respuestas positivas a la aplicación otoñal de N sobre la producción de forraje en pasturas de agropiro han sido registradas previamente en la región por Alonso et al. (2000) y Barbieri et al. (2006). Asimismo, fueron encontrados efectos de la aplicación otoñal de N sobre la producción de forraje de verdeos invernales de avena por Fontanetto et al. (2008) y Castaño et al. (2011) y para raigrás anual por Rodríguez Lahitte et al. (2004).

Cuando se considera la producción acumulada O-I-P, el tratamiento con aplicación de P sin agregado de N representó el 60% y el 40% de las producciones obtenidas con P y sin limitaciones en el suministro de N para la pastura de agropiro y el cultivo de avena, respectivamente (**Tabla 2**). De esta manera, se ratifica que los cultivos forrajeros anuales son altamente dependientes del abastecimiento de nutrientes y la deficiencia de nutrientes tendría un mayor impacto que en especies perennes (Agnusdei y Marino, 2008).

A pesar que en los experimentos evaluados se registraron restricciones hídricas para el crecimiento de las pasturas, considerando la producción O-I-P de forraje se pudieron establecer eficiencias agronómicas para las aplicaciones de 75 y 150 kg N ha⁻¹ de 36 y 26 kg MS kg⁻¹ N aplicado en avena y de 19 y 18 kg MS kg⁻¹ N aplicado en agropiro, respectivamente. Estas respuestas son coincidentes a las cuantificadas en trabajos locales para fertilizaciones invernales en verdeos invernales (Mazzanti et al., 1997; Marino et al., 2004) y otoñales en agropiro por Barbieri et al (2006) y Alonso et al. (2000).

Conclusiones

En el cultivo de avena, la producción de forraje obtenida con la aplicación de urea granulada (F1) fue significativamente inferior a las restantes fuentes nitrogenadas. En cambio, en la pastura de agropiro no se detectaron diferencias entre los fertilizantes aplicados.

La fertilización nitrogenada incrementó significativamente la producción invierno-primaveral de forraje en la pastura de agropiro y la producción en los tres períodos evaluados en el cultivo de avena.

Si bien ambos recursos forrajeros manifestaron la limitación en la producción de forraje por efecto de la deficiencia de N, los datos obtenidos ratifican una alta sensibilidad del cultivo de avena al abastecimiento del nutriente y el elevado impacto de su deficiencia en la producción de forraje.

Bibliografía

Agnusdei, M.G., M.A. Marino, y F.A. Lattanzi. 2008. Resources use efficiency in tall fescue and annual ryegrass pastures with different nitrogen nutrition (Humid Pampa, Argentina). In: Multifunctional Grasslands in a Changing World. (Ed: Organizing Committee of the IGC/IRC Congress. Guangdong

People's Publishing House. Vol.I: 300 p.

Agnusdei, M.G., S.G. Assuero, F.A. Lattanzi, y M.A. Marino. 2010. The use of the Nitrogen Nutrition Index to predict responses to N fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems. Publicado online 16 de febrero 2010. DOI:10.1007/s10705-010-9348-6.

Alonso, S.I., J.A. Fernández, C.I. Borrajo, y H.E. Echeverría. 2000. Cambios en producción y calidad del forraje otoño-invernal por el agregado de nitrógeno en materiales genéticos de agropiro. Ciencia del suelo 18(2):115-124.

Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas, y L.I. Picone. 2006. Nitrogen use efficiency from urea applied to a tall wheatgrass (*Elytrigia elongata*) prairie in a sodic soil. Australian Journal of Experimental Agriculture, 46:535-543.

Castaño, J., M.A. Marino, y M.G. Agnusdei. 2011. Producción de forraje del doble cultivo avena – raigrás anual con diferente suministro de nitrógeno. 34° Congreso Argentino de Producción Animal – 1st Joint Meeting ASAS – AAPA, Mar del Plata, Argentina. En CD.

Echeverría, H.E., y R. Bergonzi. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico No. 135 1995. 15 p. CERBAS, Centro Regional Buenos Aires Sur, INTA. EEA Balcarce.

Fontanetto H., O. Keller, F. García, e I. Ciampitti. 2008. Fertilización nitrogenada en avena. Informaciones Agronómicas 38:25-26.

Mazzanti, A., M.A. Marino, F. Lattanzi, H. Echeverría, y F. Andrade. 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del forraje de avena y raigrás anual en el sudeste bonaerense. Boletín Técnico No. 143. ISSN 0522-0548.SAGPyA, INTA CERBAS EEA Balcarce.

Marino, M.A., R.C. Fernández Grecco, y M.G. Agnusdei. 2004. Producción otoño-invernal y eficiencia de uso del nitrógeno de raigras anual: métodos de siembra y fertilización nitrogenada. "27° Congreso Argentino de Producción Animal". Tandil. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 24 Supl.: 183-184. ISBN-ISSN 0326-0550.

Rodríguez Lahitte, D., M.A. Marino, R.C. Fernández Grecco, y M.G. Agnusdei. 2004. Crecimiento otoño-inverno-primaveral de raigrás anual en diferentes fechas de siembra y niveles de fertilización nitrogenada. "27° Congreso Argentino de Producción Animal". Tandil. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 24 Supl.: 188-189. ISBN-ISSN 0326-0550.

Vázquez, P., J.L. Costa, G. Monterrubianesi, y P. Godz. 2001. Predicción de la productividad primaria de pastizales naturales de la pampa deprimida utilizando propiedades del horizonte A. Ciencia del Suelo 19(2):136-143. 🌱

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 de 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

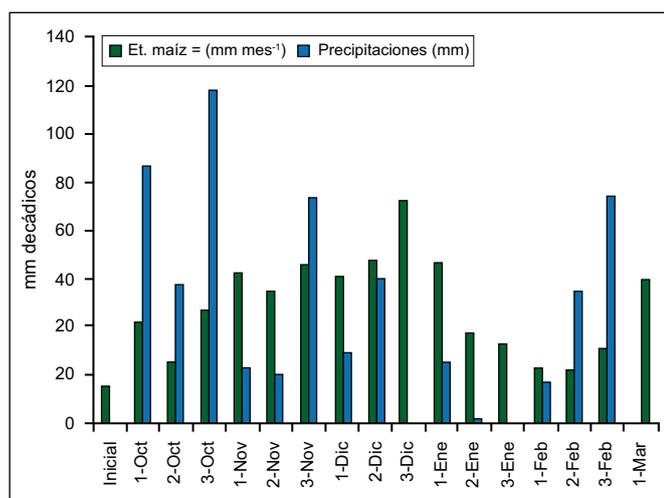


Figura 1. Precipitaciones y evapotranspiración decádicas acumuladas (mm) en Pergamino durante la campaña 2012/13. Agua disponible inicial en el suelo (200 cm) = 213 mm; Precipitaciones totales en el ciclo = 775 mm; Déficit acumulado de evapotranspiración = 16 mm.

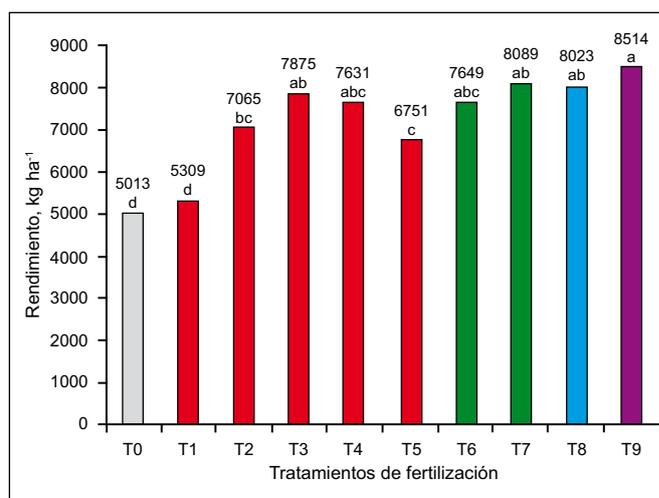


Figura 2. Producción de sorgo según tratamientos de fertilización (ver Tabla 1). Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Pergamino. Campaña 2012/13.

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

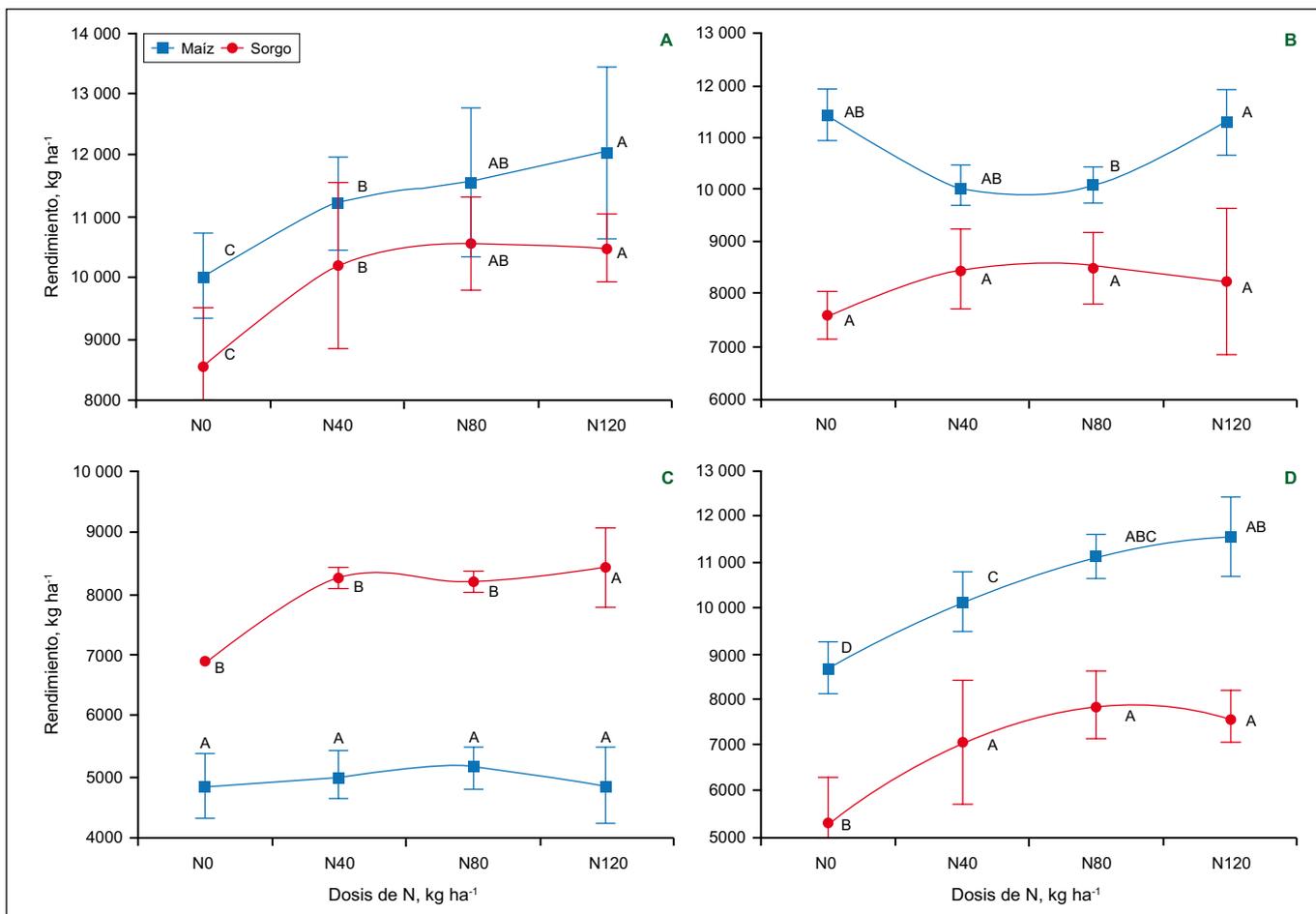


Figura 3. Rendimientos de maíz (kg ha^{-1}) (líneas azules) y sorgo (líneas rojas) según tratamientos de fertilización nitrogenada en A) General Villegas, Campaña 2010; B) 9 de Julio, Campaña 2010; C) Pergamino, Campaña 2011 (ambiente seco); y D) Pergamino, Campaña 2012. Dentro de cada sitio, letras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

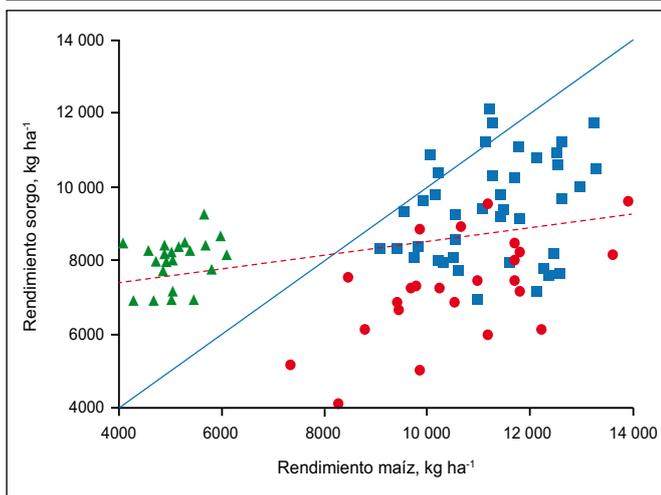


Figura 4. Relación entre los rendimientos de sorgo y maíz, en cuatro experimentos de fertilización conducidos en forma apareada. En verde rendimientos del sitio seco Pergamino 2011, en azul sitios medios 9 de Julio y General Villegas en 2010, y en rojo sitio húmedo Pergamino 2012. La línea azul indica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

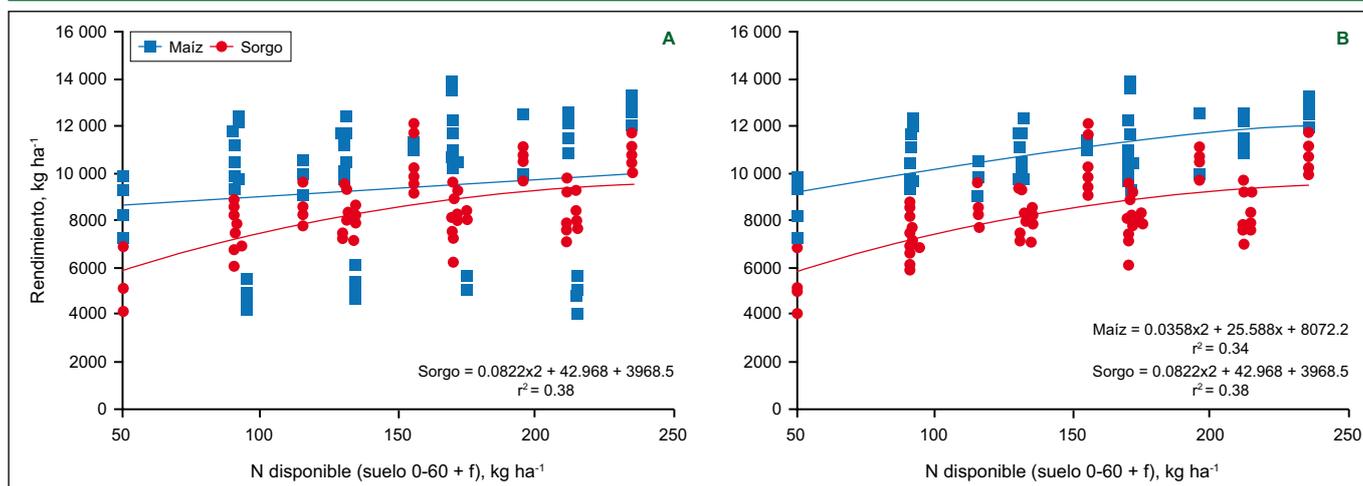


Figura 5. Relación entre los rendimientos de sorgo (rojo) y maíz (azul) en función de la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) provenientes de 4 experimentos realizados en las localidades de General Villegas 2010, 9 de Julio 2010, Pergamino 2011 y Pergamino 2012. A) Ajuste completo y B) ajuste exceptuando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