

# Producción de forraje de agropiro alargado en función de la disponibilidad de nitrógeno y la posición topográfica

Cicore, P. L., Berone, G. D., Alvarez Prado, A. y Agnusdei, M. G.

## RESUMEN

El objetivo fue evaluar, en diferentes posiciones topográficas, el crecimiento de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* [Podp.] Barkworth & D. R. Dewey Phil) bajo diferente disponibilidad de nitrógeno (N). Se seleccionaron siete sitios en función de la elevación, y en cada sitio se evaluaron dos tratamientos: N- (sin aplicación de N) y N+ (300 kg ha<sup>-1</sup> de N). En la biomasa aérea acumulada (BA) final se detectó interacción entre el nivel de N y el sitio. En N+ se hallaron diferencias significativas entre sitios, mientras que en el tratamiento N- no se encontraron diferencias. La variabilidad de la BA se debió principalmente a diferencias en la eficiencia de uso de la radiación. La altimetría de los sitios se relacionó negativamente con la BA. Esto indicaría que el factor que limitó la producción varió con la elevación. El contenido de agua del suelo podría ser este factor porque se relacionó inversamente con la elevación. En conclusión, pequeñas variaciones de altimetría podrían provocar cambios en la disponibilidad de agua y en consecuencia en la producción de forraje, que es capaz de ser detectada cuando no hay limitantes de N.

**Palabras clave:** altimetría, humedad del suelo, pasturas, suelos bajos.

Cicore, P. L., Berone, G. D., Alvarez Prado, A. and Agnusdei, M. G., 2017. Forage production in tall wheatgrass pasture according to nitrogen availability and topographic position. *Agriscientia* 34 (II): 91-98

## SUMMARY

The goal of this work was to evaluate forage production of tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum* [Podp.] Barkworth & D.R. Dewey Phil) as a function of nitrogen (N) availability and elevation positions. Seven sites were selected on the basis of their elevation and in each, two treatments were evaluated: N- (0 kg N ha<sup>-1</sup> ha) and N+ (300 kg N ha<sup>-1</sup>). An interaction between the position of sites and N rate was found for final accumulated above-ground biomass (AB). At N+ sites there was significant variation, whereas at N- sites no variation was observed. Variability in AB was mainly due to differences in radiation use efficiency. The data showed a negative correlation between elevation of experimental sites and AB. This would indicate that the factor that limited the forage production varies with elevation. Soil moisture content (SMC) could

be this restrictive factor because of its negative correlation with elevation. In conclusion, small variations in the elevation of sites could affect water availability and therefore affect forage productivity when there is not limiting N.

**Key words:** elevation, soil moisture, pastures, low land soils.

*P. L. Cicore y M. G. Agnusdei: INTA Balcarce. Ruta 226 km 73,5 Balcarce, Buenos Aires, Argentina. G.D. Berone: INTA Balcarce y FCA, UNMdP. Ruta 226 km 73,5 Balcarce, Buenos Aires, Argentina. A. Alvarez Prado: Actividad privada. Correspondencia a: cicore.paboleandro@inta.gob.ar*

En la Pampa Deprimida predominan suelos que se caracterizan por una serie de restricciones (anegamientos, alcalinidad, salinidad, etc.) que afectan el crecimiento de los cultivos agrícolas (Taboada, 2006). En consecuencia, estos ambientes, suelen destinarse a la producción pecuaria sobre la base de pastizales naturales o pasturas implantadas. Entre estas últimas, las pasturas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* [Podp.] Barkworth & D. R. Dewey Phil) constituyen uno de los recursos forrajeros fundamentales, debido a que toleran las limitaciones edáficas de esa región (Mazzanti, Castaño, Orbea y Sevilla, 1992).

El crecimiento, analizado a través del modelo radiativo (Monteith, 1977), es función de la radiación solar incidente, la radiación interceptada y la eficiencia de uso de la radiación (EUR). Para una condición climática dada, este crecimiento puede variar espacialmente a consecuencia de múltiples interacciones con el ambiente edáfico (Cox, Gerard, Wardlaw y Abshire, 2003) que, en la Pampa Deprimida, se caracteriza por ser altamente heterogéneo (Cicore *et al.*, 2015).

Uno de los factores que afecta la variabilidad espacial de la productividad es la topografía del terreno (Kaspar *et al.*, 2003), ya que la elevación determina el flujo y acumulación del agua en diferentes posiciones del lote (Pachepsky, Timlin y Rawls, 2001). La Pampa Deprimida se caracteriza por presentar un relieve plano (Batista, 2005), por lo tanto, el efecto de la topografía podría ser poco relevante. Sin embargo, en sectores deprimidos de la Pampa Ondulada, donde las características del paisaje son similares a las halladas en la Pampa Deprimida, Martín, Sosa, Montico y Zerpa (2007) determinaron una relación negativa entre la elevación del terreno y la productividad de los pastizales. Según estos autores, este comportamiento estaría asociado al flujo y la acumulación del agua en diferentes posiciones del paisaje, generados por

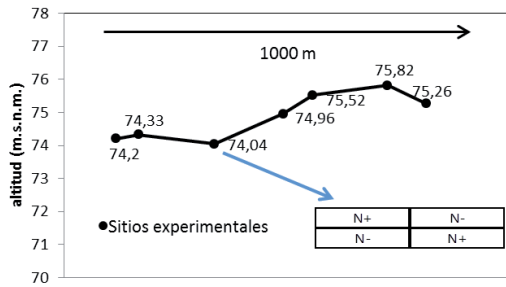
pequeñas diferencias en la altimetría. Esto abre un interrogante, relacionado a posibles variaciones espaciales en el potencial productivo de ambientes ubicados en distintas posiciones del relieve de lotes ganaderos de la Pampa Deprimida.

Por otra parte, luego del agua, el nitrógeno (N) es el segundo factor limitante del crecimiento de las plantas (Jarvis, Scholefield y Pain, 1995; Sinclair y Rufty, 2012). El uso de este insumo, ha demostrado ser una herramienta tecnológica de alto impacto para la producción de forraje en ambientes ganaderos de la Pampa Deprimida (Agnusdei, Assuero, Lattanzi y Marino, 2010), mejorando la eficiencia de uso de otros recursos, como por ejemplo el agua (Cooper, Gregory, Tully y Harris, 1987).

Con base en estos antecedentes, las variaciones topográficas podrían afectar la disponibilidad de agua y, en consecuencia, el potencial productivo de los recursos forrajeros implantados en los suelos de la Pampa Deprimida. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar, en un rebrote de primavera, la producción de forraje de una pastura de agropiro en seco bajo dos condiciones de agregado de N en diferentes posiciones topográficas del terreno.

La experiencia se realizó en el partido de Ayacucho (37° 24' S, 57° 22' O), en un lote con una pastura implantada de agropiro alargado, y cuya unidad cartográfica es la GG30. En esa unidad, aproximadamente el 40 % de la superficie corresponde a Natracuoles típicos serie Guido, el 25 % a Natracuoles típicos serie Ayacucho y el 25 % a Natracualfes serie Chelforó (INTA, 2014).

En el lote bajo estudio se trazó una transecta de 1000 m y se seleccionaron siete sitios de diferente altimetría (74,04; 74,20; 74,33; 74,96; 75,26; 75,52 y 75,82; donde cada número indica la elevación sobre el nivel del mar [Figura 1]). Dicha altura se determinó mediante un modelo de elevación digital (DEM) de 45x45 metros de resolución, obtenido mediante el satélite ASTER (EOSDIS, 2009).



**Figura 1.** Detalle de la disposición de los sitios experimentales en una transecta de 1000 m en función de la altitud (m.s.n.m.) y arreglo de los tratamientos de fertilización dentro de cada sitio experimental.

En cada sitio se instaló un experimento donde se evaluaron dos niveles de agregado de N: N- (0 kg ha<sup>-1</sup> de N) y N+ (300 kg ha<sup>-1</sup> de N) quedando definido un diseño experimental completamente aleatorizado con dos repeticiones y un arreglo factorial de 7 (posiciones topográficas) × 2 (niveles de N). El tamaño de cada unidad experimental (UE) fue de 1,5 m por 6,0 m. Las UE se dividieron en tres áreas de 1,5 m por 2,0 m para poder realizar tres cortes sucesivos durante el rebrote.

El 12/11/2013 se inició el período experimental mediante un corte de emparejamiento (5 cm de altura) y la aplicación de los tratamientos de fertilización. El N se aplicó al voleo bajo la forma de urea. Además, cada UE recibió, también al voleo, 30 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (P) para evitar deficiencias de este nutriente. Se registraron las lluvias, y mediante el método gravimétrico se determinó, en cada sitio, el contenido de agua del suelo (CAS, %) al inicio y al final del período experimental hasta los 40 cm de profundidad. A los 22, 35 y 48 días de iniciado el período experimental, correspondientes a 177, 486 y 669 grados días acumulados (°Cd, temperatura base de 4 °C; Borrajo y Alonso, 2014) se tomaron dos muestras de 0,1 m<sup>2</sup> por cada UE. Estas fueron secadas a 60 °C hasta peso constante, pesadas y relacionadas a la superficie del muestreo para estimar la biomasa seca aérea acumulada por unidad de superficie (BA, kg ha<sup>-1</sup>).

Previo a cada corte de BA, utilizando un equipo LAI-2000 (Licor, Lincoln, NE, USA), se determinó la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre (A0) y debajo (A) del canopeo. La proporción de la radiación interceptada (%Ri) se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$\% Ri = 1 - A/A0$$

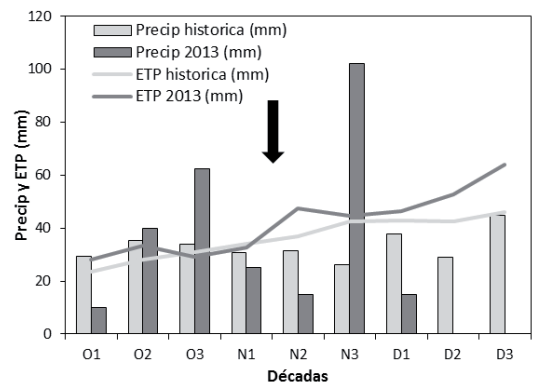
El % Ri correspondiente a los días entre cortes se estimó por interpolación lineal utilizando los datos obtenidos en los días de corte (Goose *et al.*, 1986). La radiación fotosintéticamente activa

interceptada (RFAint) se calculó, para cada día del rebrote, como el producto entre la radiación solar total incidente, el % Ri y un factor de 0,48 para convertir radiación solar total en radiación fotosintéticamente activa incidente (Goose *et al.*, 1986). Finalmente, la RFA interceptada acumulada (RFAintac) se obtuvo a partir de la sumatoria de los valores diarios de RFAint desde la fecha del corte de emparejamiento hasta la fecha del último corte. La EUR se calculó como la pendiente de la relación lineal entre RFAintac y BA.

Finalmente, se realizó análisis de la varianza (ANOVA) y de regresión simple utilizando los procedimientos GLM y REG respectivamente, incluidos en el programa Statistical Analysis System (SAS, SAS Institute Inc., 2007). Cuando alguno de los ANOVA indicó diferencias significativas, la comparación de medias se realizó mediante el test de diferencia mínima significativa (DMS).

Durante el experimento la radiación solar incidente promedio fue de 23 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y la temperatura media del aire fue 22 °C (datos no mostrados). Las precipitaciones fueron superiores a la media histórica durante octubre (previo al experimento) y noviembre (principio del experimento). En cambio, en diciembre, fueron inferiores (Figura 2). En el primer corte, realizado el 04/12/2013 (177 °Cd), el agua disponible en el suelo era elevada debido a las precipitaciones de fin de noviembre (117 mm desde el 25/11 al 01/12). Sin embargo, a partir de principio de diciembre no se produjeron precipitaciones (Figura 2).

En las dos primeras fechas de muestreo (177 y 486 °Cd) no se registró interacción entre los



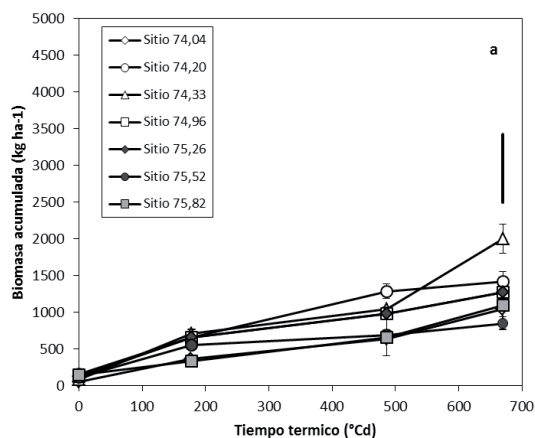
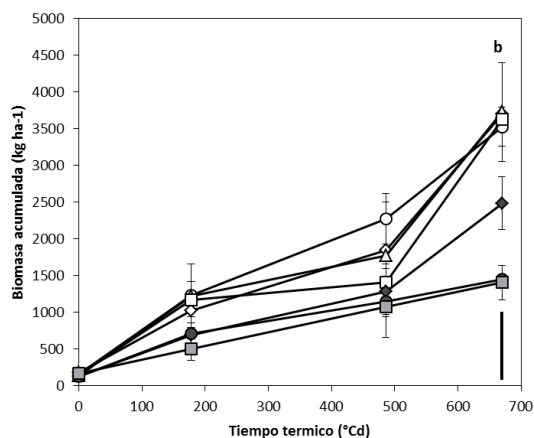
**Figura 2.** Precipitaciones (Precip) y evapotranspiración potencial (ETP) decáicas previas a la instalación del ensayo y durante el experimento y medias decáicas históricas (1971-2012). La flecha indica el momento de fertilización de los ensayos (12/11/2013). O= Octubre, N= Noviembre, D= Diciembre; 1= día 1 al 10 de cada mes, 2= día 11 al 20 de cada mes, 3= 21 al 30 o 31 de cada mes.

factores sobre la BA (Tabla 1). La pastura que recibió N (N+) prácticamente duplicó la producción de forraje respecto de la pastura que no recibió N (N-) (Tabla 1). Por otra parte, si bien el tratamiento sitio no posee repeticiones verdaderas, el análisis estadístico realizado registró efecto significativo del sitio (Tabla 1), siendo generalmente superior la producción de forraje observada en los sitios ubicados a menor altimetría (Tabla 1).

**Tabla 1.** Biomasa aérea acumulada (BA) de una pastura de agropiro alargado durante un rebrote primaveral; para siete sitios experimentales y dos tratamientos de fertilización nitrogenada. Cada dato es el promedio de  $n=2$

Sitio	BA (kg ha <sup>-1</sup> )			EUR (g Mj <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
	Tiempo térmico (°Cd)			
	177	486	669	
74,04	614 cd	1083 ab	1924	1,10 ab
74,20	898 ab	1698 a	2232	1,37 a
74,33	934 a	1358 ab	2730	1,36 a
74,96	875 ab	1172 ab	2127	1,21 ab
75,26	512 cd	894 b	1677	1,00 bc
75,52	630 abc	888 b	1096	0,75 cd
75,82	413 d	835 b	1238	0,71 d
Dosis de N				
N0	502 B	821 B	1211	0,86 A
N300	891 A	1471 A	2617	1,29 B
ANOVA				
Sitio	0,0147	0,16	0,002	0,0005
N	0,0005	0,0004	0,0001	0,0001
Sitio x N	0,54	0,60	0,0081	0,19

Letras diferentes indican diferencias significativas entre sitios experimentales (minúsculas) y tratamientos de fertilización (mayúsculas) cuando no hubo interacción entre los factores de tratamiento.



**Figura 3.** Dinámica de acumulación de la biomasa aérea (BA, kg ha<sup>-1</sup>) para los distintos sitios en el (a) tratamiento de N- y el (b) tratamiento N+. Barras sobre los valores medios indican el desvío estándar de la media. Cuando hubo interacción entre los factores de tratamiento las barras negras verticales indican DMS dentro de cada tratamiento de fertilización ( $p=0,05$ ).

En la tercera fecha (669 °Cd) se encontró interacción significativa ( $p<0,05$ ) entre los factores, ya que el agregado de N provocó una respuesta diferente entre sitios (Tabla 1). La magnitud de estas diferencias puede observarse en la Figura 3. Bajo condiciones de N+, en los sitios 74,04; 74,20; 74,33 y 74,96 la BA al final del rebrote fue de alrededor de 3600 kg ha<sup>-1</sup> superando ampliamente a los sitios 75,26; 75,52 y 75,82 (Figura 3b). En cambio, bajo condiciones de N- no se detectaron diferencias entre posiciones topográficas, excepto el sitio 74,33, en donde hubo una BA superior al resto de los ambientes (Figura 3a). Esta interacción provocó que la mayoría de las parcelas del tratamiento N- tuvieran una BA final similar a las parcelas del tratamiento N+ de los sitios menos productivos (generalmente los de mayor altimetría) donde prácticamente no hubo respuesta al agregado de N (Figura 3).

En la Figura 4 se presentan los ajustes lineales entre la RFAintac y la BA. En la EUR, pendiente de la relación entre estas variables, no se halló interacción significativa entre los tratamientos de fertilización y los sitios experimentales. Por el contrario, se hallaron diferencias significativas entre sitios siendo generalmente superiores los sitios ubicados a menor elevación. Además, la EUR fue significativamente mayor bajo condiciones de N+ respecto de N- (Tabla 1).

Si bien para EUR no se detectó interacción significativa entre los tratamientos y los sitios experimentales, dentro del tratamiento N+ las diferencias en producción de forraje de los sitios ubicados generalmente a menor altimetría (74,20; 74,33; 74,04; 74,96) respecto de los ubicados a mayor altimetría,

se explicaron por una mayor EUR (Figura 4b). En cambio, en el tratamiento N-, los sitios evaluados (excepto el sitio 74,33) tuvieron escasa diferencia en EUR (Figura 4a), como también en RFAintac. Por ello, la BA final fue menos variable entre sitios dentro de este tratamiento de fertilización respecto a lo ocurrido en el tratamiento N+ (Tabla 1).

La ubicación en el paisaje de los sitios experimentales se relacionó negativamente con la BA hasta los 669 °Cd (Figura 5) siendo el tratamiento N+ más sensible a variaciones de la altimetría que el tratamiento N- ( $r^2 = 0,77$  y  $0,28$  respectivamente; Figura 5). En el mismo sentido, el CAS al inicio del período experimental se relacionó negativamente con la altitud (Figura 6a). Al final del experimento, el agua gravimétrica se relacionó significativamente con la altitud en el tratamiento N-. Sin embargo, el grado de ajuste entre estas variables no fue elevado (Figura 6b;  $r^2 < 0,40$ ). En cambio, el agua gravimétrica no se relacionó con la altitud en el tratamiento N+ (Figura 6b).

En este experimento, realizado en primavera avanzada, se registró efecto del agregado de N sobre la BA de agropiro alargado coincidiendo con lo reportado para esta especie y otras que habitualmente se utilizan en la región (Marino y Agnusdei, 2007; Agnusdei *et al.*, 2010; Errecart, Agnusdei, Latanzi y Marino, 2012). Por otra parte, se registró efecto significativo del sitio, coincidiendo con lo observado por Vázquez, Costa, Monterubianesi y Godz (2001). Sin embargo, estos autores determinaron variaciones espaciales en suelos de la Pampa Deprimida a una escala mayor a la evaluada en el presente trabajo.

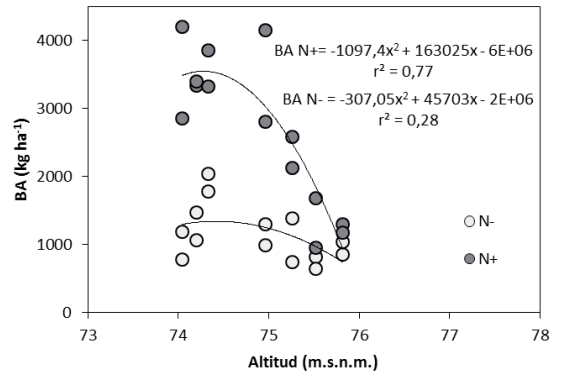


Figura 5. Relación entre la altitud (m.s.n.m.) y la biomasa aérea acumulada (BA, kg ha<sup>-1</sup>) a los 669°.

En líneas generales, las diferencias en BA entre sitios y entre disponibilidad de N se debieron principalmente a diferencias en EUR, siendo mínimas las diferencias en RFAintac. Según Belanger, Gastal y Lemaire (1992) las diferencias en EUR se producen en mayor medida por diferencias en partición a raíces y en menor medida por diferencias en eficiencia fotosintética. Esto sugiere que las parcelas de mayor producción de forraje habrían particionado una menor proporción del carbono fijado a raíces (g carbono a raíces/g carbono total fijado) respecto de las parcelas de menor producción de forraje. Obviamente, esto no quiere decir que el crecimiento absoluto de raíces haya sido mayor en las parcelas de menor producción de forraje. Por el contrario, como fuera demostrado por Belanger *et al.* (1992) parcelas de mayor producción de forraje también muestran mayor crecimiento de raíces.

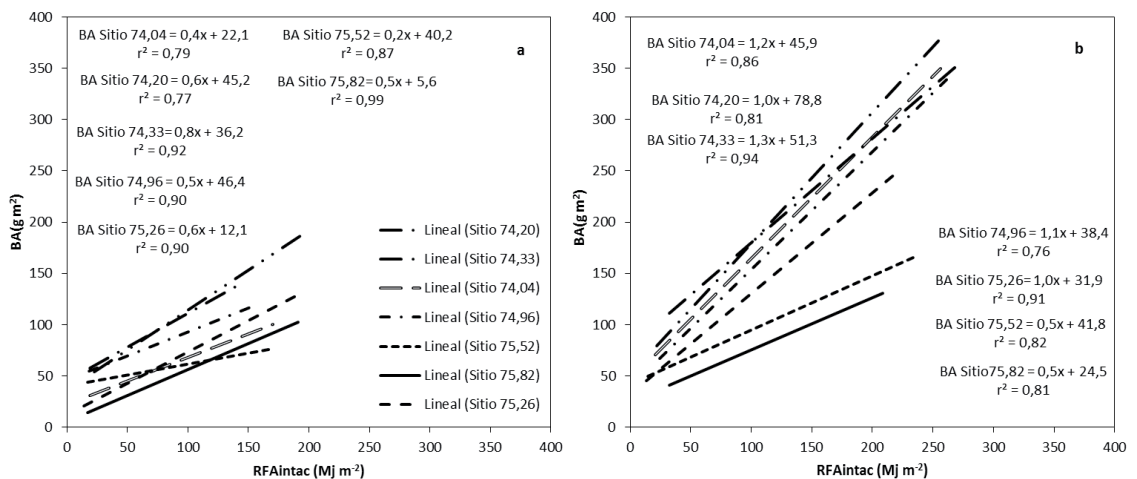
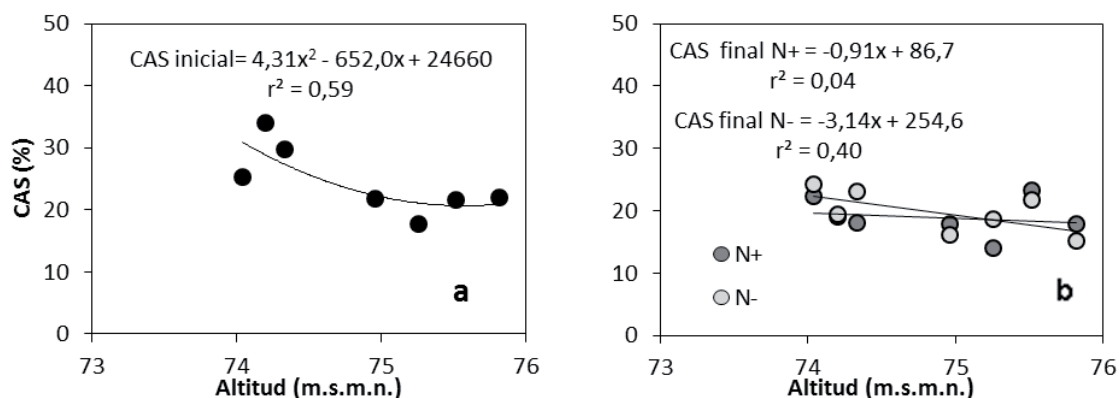


Figura 4. Relación entre la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAintac, MJ m<sup>-2</sup>) y la biomasa aérea acumulada (BA, g m<sup>-2</sup>) para los distintos sitios en el (a) tratamiento de N- y el (b) tratamiento N+.



**Figura 6.** Relación entre la altitud (m sobre el nivel del mar) y el contenido de agua en el suelo (CAS, %) al (a) inicio y al (b) finalizar el experimento.

Los valores de EUR hallados en el presente trabajo son relativamente inferiores a los usualmente reportados para cubiertas monoespecíficas de gramíneas perennes C3 creciendo sin limitaciones durante la primavera-verano ( $1,8\text{ g MS Mj m}^{-2}$ ; Belanger, Gastal y Warembourg, 1994; Agnusdei *et al.*, 2010). Esto puede explicarse por al menos tres razones mutuamente no excluyentes. Es probable que todos los sitios experimentales del presente trabajo, en mayor o menor medida, hayan experimentado limitaciones ambientales adicionales que afectaron la EUR (ej: mayores niveles de salinidad). Además, es factible que por una cuestión intrínseca de la especie-cultivar utilizada, la partición a raíces haya sido mayor en el presente trabajo. Finalmente, el hecho que recién en la última fecha se haya obtenido una biomasa de  $3000\text{ kg ha}^{-1}$  (Tabla 1) indicaría que nunca las hojas de estas pasturas estuvieron con elevados niveles de sombreado (Lemaire y Gastal, 1997), y por lo tanto, la fotosíntesis probablemente haya operado en la zona de saturación lumínica (Gastal y Belanger, 1993) generando bajas EUR. La escasez de trabajos que analizan el crecimiento de agropiro alargado utilizando el modelo radiativo impide hacer mayores especulaciones al respecto.

En el tratamiento N+ la producción en los sitios ubicados a menor altimetría fue sustancialmente mayor que la de los sitios de mayor altimetría siendo las diferencias productivas entre sitios prácticamente nulas en el tratamiento N- (Figuras 3 y 5). Esto sugiere que mientras la producción de biomasa de los sitios de menor altimetría habría estado limitada principalmente por N, en los sitios de mayor altimetría la producción habría estado limitada por otro factor o recurso. Uno de los recursos que podría haber limitado el crecimiento de

los sitios de mayor altimetría sería el agua. Como pudo observarse (Figura 6a), los sitios de mayor altimetría mostraron, en general, menor contenido de agua del suelo al inicio respecto de los sitios de mayor altimetría. Al respecto, experiencias previas en ambientes ganaderos de la región también demuestran que variaciones espaciales en la humedad edáfica están asociadas a variaciones en la topografía (Cicore *et al.*, 2015). En este sentido, Sharma, Mukhopadhyay y Sidhu (1998) encontraron que los sectores cóncavos de un lote poseen un escurrimiento despreciable y acumulación de aguas provenientes de áreas adyacentes relativamente más altas, siendo así mayor la precipitación efectiva.

El presente trabajo demostró que en los suelos ganaderos de la Pampa Deprimida puede haber variación espacial en la capacidad de producción de forraje bajo condiciones de agregado de N. En cambio, donde no se agregó N, las variaciones fueron prácticamente nulas. En segundo lugar, pudo observarse que las variaciones espaciales estuvieron asociadas a cambios en la altimetría, mostrando mayor productividad los sitios ubicados en zonas más bajas, donde la disponibilidad de agua fue mayor. Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta experiencia se debieron a que los sitios de menor altimetría estuvieron principalmente limitados por nitrógeno y los sitios de mayor altimetría estuvieron principalmente limitados por agua. Estas conclusiones son preliminares dado que son producto de un experimento con limitaciones de diseño, de un solo rebrote, de una sola estación de crecimiento y en un determinado suelo. Por lo tanto, son necesarias futuras investigaciones debido a la complejidad edáfica e hidrológica de los suelos de la Pampa Deprimida.



## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la firma Cinco Cerros S. A. por su apoyo para realizar este experimento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agnusdei, M. G., Assuero, S. G., Lattanzi, F. A. y Marino, M. A. (2010). Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 88, 215-230.
- Batista, W. B., Taboada, M. A., Lavado, R. S., Perelman, S. B. y León, R. J. C. (2005). Asociación entre comunidades vegetales y suelos de pastizal de la Pampa Deprimida. En Oesterheld, M., Aguiar, M. R., Ghera, C. M. y Paruelo, J. M. (Eds.): *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando J. C. León*. Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, pp. 113-129.
- Belanger, G., Gastal, F. y Warembourg, F. R. (1994). Carbon balance of tall fescue: effect of nitrogen fertilization and the growing season. *Annals of Botany* 74, 653-659.
- Belanger, G., Gastal, F. y Lemaire, G. (1992). Growth analysis of tall fescue sward fertilised with different rates of nitrogen. *Crop Science* 32, 1371-1376.
- Borrajó, C. I. y Alonso, S. I. (2014). Tasa de elongación foliar en materiales de agropiro alargado: efecto de la fenología y el agregado de nitrógeno. *Actas del XXXVII Congreso Argentino de Producción Animal*. Buenos Aires, Argentina, octubre 20-22.
- Cicore, P. L., Sánchez, H. R., Peralta, N. R., Castro Franco, M., Aparicio, V. y Costa, J. L. (2015). Determinación de ambientes edáficos en suelos de la Pampa Deprimida mediante la conductividad eléctrica aparente y la elevación. *Ciencia del Suelo* 33, 229-237.
- Cooper, P. J. M., Gregory, P. J., Tully, D. y Harris, H. C. (1987). Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of west Asia and North Africa. *Experimental Agriculture* 23, 113-158.
- Cox, M. S., Gerard, P. D., Wardlaw, M. C. y Abshire, M. J. (2003). Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. *Soil Science Society of America Journal* 67, 1296-1302.
- Earth Observing System Data And Information System (EOSDIS) (2009). Earth Observing System Clearing-House (ECHO) / Warehouse Inventory Search Tool (WIST). Version 10.X [online application]. Greenbelt, MD: EOSDIS, Goddard Space Flight Center (GSFC) National Aeronautics and Space Administration (NASA). <(https://wist.echo.nasa.gov/api/> Consultada el 15/08/2015.
- Errecart, P. M., Agnusdei, M. G., Lattanzi, F. A. y Marino, M. A. (2012). Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Research* 129, 46-58.
- Gastal, F. y Bélanger, G. (1993). The effect of N fertilization and the growing season on photosynthesis of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) canopies. *Annals of Botany* 72, 401-408.
- Goose, G., Varlet-Grancher, C., Bonhomme, R., Chartier, M., Allirand, J. M. y Lemaire, G. (1986). Production maximale de matiere seche et rayonnement solaire intercepté par un couvert vegetal. *Agronomie* 6, 47-56.
- INTA (2014) Cartas de suelo de la República Argentina, provincia de Buenos Aires. <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/3757/Ayacucho/> Recuperado el 10 de octubre de 2014.
- Jarvis, S. C., Scholefield, D., y Pain, B. (1995). Nitrogen cycling in grazing systems. En Bacon, P. E. (Ed.): *Nitrogen fertilization in the environment* (pp 381-420). Nueva York, Estados Unidos: Marcel Dekker.
- Kaspar, T. C., Colvin, T. S., Jaynes, D. B., Karlen, D. L., James, D. E., Meek, D. W. y Pulido, D. (2003). Relationship between six years of corn yields and terrain attributes. *Precision Agriculture* 4, 87-101.
- Lemaire, G. y Gastal, F. (1997). N uptake and distribution in plant canopies. En Lemaire, G. (Ed.) *Diagnosis of the nitrogen status in crops* (pp. 3-43). Berlin, Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag.
- LI-COR, (1992). LAI-2000. Plant canopy analyser. Instruction manual. Lincoln, Nebraska, Estados Unidos: LICOR.
- Marino, M. A. y Agnusdei, M. G. (2007). Manejo estacional del suministro de nitrógeno en pasturas de *Festuca arundinacea* Schreb. (sudeste bonaerense, Argentina): Crecimiento y eficiencia en el uso de recursos. *Actas de la XX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA) - XXX Reunión Asociación Peruana de Producción Animal (APPA)*. Cusco, Perú, octubre 21-25.
- Martín, B., Sosa, O., Montico, S. y Zerpa, G. (2007). Relación entre las unidades de vegetación y la microtopografía en un pastizal ubicado en un sector mal drenado de Argentina. *Ciencia e Investigación Agraria* 34, 103-113.
- Mazzanti, A., Castaño, J., Orbea, J. R. y Sevilla, G. H. (1992). Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste bonaerense. Manual de descripción. CERBAS-EEA INTA Balcarce.
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 281, 277-294.
- Pachepsky, Y. A., Timlin, D. J. y Rawls, W. J. (2001). Soil

- water retention as related to topographic variables. *Soil Science Society of America Journal* 65, 1787-1795.
- SAS Institute INC. (2007). SAS/STAT-JMP Users Guide. Release 7. Cary, Carolina del Norte, Estados Unidos: SAS Institute INC.
- Sharma, B. D., Mukhopadhyay, S. y Sidhu, P. (1998). Microtopographic controls on soil formation in the Punjab region, India. *Geoderma* 81, 357-368.
- Sinclair, T. R. y Rufty, T. (2012). Nitrogen and water resources commonly limit crop yields increases, not necessarily plant genetics. *Global Food Security* 1, 94-98.
- Taboada, M. A. (2006). Comportement de la structure des sols de la Pampa Inondable et de la Pampa Agricole de l'Argentine (en anglais). These Doctorat eco et Agrosystemes. Institut National Polytechnique, Toulouse, France. 345 pp.
- Vázquez, P. M., Costa, J. L., Monterubbianesi, G. y Godz, P. (2001). Predicción de la productividad primaria de pastizales naturales de la pampa Deprimida utilizando propiedades del horizonte A. *Ciencia del suelo* 19, 136-143.