



Evaluación de la fijación biológica de Nitrógeno de *Adesmia bicolor* (Leguminosae) consociada con *Festuca arundinacea* (Gramineae)

Evaluation of the biological Nitrogen fixation of *Adesmia bicolor* (Leguminosae) associated with *Festuca arundinacea* (Gramineae)

Menichelli García D.¹; Ana I. Novaira¹; Rosana N. Malpassi^{1,2}; Ezequiel M. Grassi^{1,2}; Lucas E. Aguirre^{1,2}; Ernesto A. Castillo^{1,2}; Hernán E. di Santo^{1,2}; Juan F. Gorjon¹; María J. Ganum Gorriz^{1,2}; Sara del C. Basconsuelo¹; María F. Grossi Vanacore^{1,2}; L. Bianco^{1,2*}

¹ Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Facultad de Agronomía y Veterinaria. Ruta 36 Km 601, (5800) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

² Instituto de Investigaciones Agrobiotecnológicas (INIAB CONICET-UNRC). Ruta 36 km 601, (5800) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

* Autor corresponsal: <lbianco@ayv.unrc.edu.ar>

RESUMEN

Las leguminosas al crecer asociadas a otras especies son capaces de incrementar el valor nutritivo total de las no fijadoras de Nitrógeno (N) y aumentar su productividad. El objetivo fue evaluar la fijación biológica de N de *Adesmia bicolor* (Leguminosae) creciendo consociada con *Festuca arundinacea* (Gramineae) a lo largo de su ciclo de vida. El ensayo se realizó en la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se evaluaron cuatro tratamientos: A1:F0 (Control I: *A. bicolor*, cultivo puro), A1:F1 (*A. bicolor* y *F. arundinacea* en proporciones similares), A3:F1 (*A. bicolor* y *F. arundinacea* en proporciones 3 a 1) y A0:F1 (Control II: *F. arundinacea*, cultivo puro). Durante las fases de crecimiento se seleccionaron tres áreas de superficie de 0,25 m² por tratamiento, se determinó producción de biomasa seca total, número de nódulos y contenido de N. En *A. bicolor* se observó una mayor producción de biomasa seca total en el cultivo puro A1:F0 con respecto a los consociados en todas las fases de crecimiento. En *F. arundinacea* se notó una mayor producción de biomasa seca total en el cultivo puro

► Ref. bibliográfica: Menichelli García, D.; Novaira, A. I.; Malpassi, R. N.; Grassi, E. M.; Aguirre, L. E.; Castillo, E. A.; di Santo, H. E.; Gorjon, J. F.; Ganum Gorriz, M. J.; Basconsuelo, S. del C.; Grossi Vanacore, M. F.; Bianco, L. 2023. Evaluación de la fijación biológica de Nitrógeno de *Adesmia bicolor* (Leguminosae) consociada con *Festuca arundinacea* (Gramineae). *Lilloa* 60 (2): 335-347. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/1855>

► Recibido: 27 de septiembre 2023 – Aceptado: 30 de noviembre 2023 – Publicado en línea: 7 de diciembre 2023.

► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.



A0:F1 en etapa vegetativa y de fructificación, mientras que en etapa de floración fue mayor en los tratamientos consociados. El contenido de N en las dos especies fue más elevado en la parte aérea que subterránea. Los valores más altos de N se presentaron en el tratamiento A3:F1. En *A. bicolor* la mayor producción de nódulos fue, en todos los tratamientos, en etapa vegetativa. Se concluye que *A. bicolor* es efectiva para fijar N tanto en cultivo puro como consociada. Teniendo en cuenta los valores de biomasa de *F. arundinacea* y el contenido de N en ambas especies se observaron resultados prometedores en los tratamientos consociados, por lo cual se sugiere continuar con estudios que permitan comprender el comportamiento de esta asociación.

Palabras clave — Consociación; gramínea; leguminosa.

ABSTRACT

When legumes grow associated with other species, they are capable of increasing the total nutritional value of non-nitrogen fixing species as well as their productivity. The objective of this work was to evaluate the biological Nitrogen (N) fixation of *Adesmia bicolor* (Leguminosae) growing in association with *Festuca arundinacea* (Gramineae) throughout its life cycle. The trial was carried out at the National University of Río Cuarto. Four treatments were evaluated: A1:F0 (Control I: *A. bicolor*, pure culture), A1:F1 (*A. bicolor* and *F. arundinacea* in similar proportions), A3:F1 (*A. bicolor* and *F. arundinacea*, in a ratio of 3 to 1) and A0:F1 (Control II: *F. arundinacea*, pure culture). During the growth stages, three plots of 0.25 m² were selected per treatment. Total dry biomass production, number of nodules and N content were determined. In all stages of *A. bicolor* growth, a greater production of total dry biomass was observed in the A1:F0 pure culture with respect to associates. In *F. arundinacea*, a greater production of total dry biomass was noted in the pure culture A0:F1 in the vegetative and fruiting stages, while at the flowering stage it was higher in the associated treatments. N content in the two species was higher in the aerial part than in the underground part. The highest N values were recorded in treatment A3:F1. In *A. bicolor*, the highest production of nodules was detected at the vegetative stage in all treatments. It is concluded that *A. bicolor* is effective in fixing N both in pure culture and in association. The biomass values of *F. arundinacea* and N content in both species showed promising results in the association treatments. Further studies should be conducted to understand their behavior.

Keywords — Association; grasses; legumes.

INTRODUCCIÓN

Las especies forrajeras perennes constituyen uno de los recursos más eficientes para la protección del suelo, ya que mejoran su fertilidad, disminuyen los costos por no requerir labranzas e incrementan los rendimientos agrícolas a través de la circulación de nutrientes (Pagliaricci *et al.*, 2002). Por estas razones, es importante

buscar nuevas alternativas forrajeras para desarrollar sistemas más productivos y sostenibles de producción animal. El gran desafío de los productores que practican una ganadería moderna consiste en incrementar la producción de carne y leche en forma acelerada y sostenible, de tal manera que permita garantizar la demanda de la población y la conservación de los recursos naturales y del ambiente (Giraldo, 1999).

En Argentina, la investigación en forrajes ha generado y producido gramíneas y leguminosas con potencial para aumentar la producción animal en sistemas de pastoreo (Lascano *et al.*, 1996).

Los cultivos perennes utilizados en sistemas bovinos para carne y leche en el centro de Argentina son principalmente alfalfa y gramíneas de ciclo otoño-invierno-primavera, los que pueden sembrarse como cultivos puros o constituyendo praderas perennes (Pagliaricci *et al.*, 1990). En la actualidad, las asociaciones de especies en una pastura son cada vez más frecuentes y, generalmente, comprenden la interrelación armónica y equilibrada entre dos o más especies de gramíneas y leguminosas. Estas asociaciones se pueden realizar con leguminosas nativas que se encuentran en el pastizal o con especies introducidas ya probadas (Sánchez, 1998).

En la pampa húmeda y subhúmeda de Argentina, las gramíneas perennes de crecimiento otoño-invierno-primavera más cultivadas son la festuca alta (*Festuca arundinacea*), agropiro (*Tynophiron ponticum*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), entre otras. La festuca alta es considerada la principal, debido a que es la mejor adaptada y de mayor producción forrajera en esta zona (Rimieri y Wolff, 2010). Esta especie se destaca por su resistencia a las condiciones invernales húmedas, así como su tolerancia a la sequía, haciendo de ella la gramínea por excelencia para suelos con limitaciones edáficas (Cullen, 1997). Es una especie C3, rústica y productiva, que ocupa un lugar muy significativo en las praderas y establecimientos ganaderos de numerosos países (Rolhauser *et al.*, 2007).

En la actualidad, las leguminosas asociadas a los pastizales nativos y el establecimiento de praderas mixtas de gramíneas y leguminosas han sido ampliamente adoptadas para superar el déficit de Nitrógeno (N) del forraje en sistemas de pastoreo. La introducción de leguminosas en las praderas conduce a una mayor acumulación de N del suelo y una mayor productividad (Mortenson *et al.*, 2004, Rao *et al.*, 2007). Al evaluar la fijación biológica de Nitrógeno (FBN) en asociaciones de gramíneas y leguminosas, Reynolds (1982) determinó que la mayor parte del N cedido, alrededor de un 80%, se transfiere al suelo a través de la descomposición de raíces y nódulos o deyecciones de animales hasta ser asimilados por las plantas asociadas, mientras que otra porción significativa del N fijado se libera directamente al suelo por las exudaciones de las raíces hacia la rizósfera (Trannin *et al.*, 2000; Spehn *et al.*, 2002; Paynel *et al.*, 2008).

De esta manera, las leguminosas no sólo incrementan el valor nutritivo de la gramínea asociada, particularmente en lo que se refiere a los contenidos de proteína total y de minerales, sino que además son capaces de aumentar la producción de materia seca en las praderas con una distribución estacional más uniforme y menor variabilidad interanual. Esta mayor disponibilidad de forraje permite elevar la carga animal por unidad de superficie (Rojas Hernández *et al.*, 2005; Scheneiter, 2005), debido a que la consociación de gramíneas y leguminosas mejora el rendimiento

de proteína y materia seca (Frankow-Lindberg *et al.*, 2009; Nyfeler *et al.*, 2011) y aumenta la fertilidad del suelo mediante el incremento de la materia orgánica y el contenido de N (Nguyen, 2003; Wichern *et al.*, 2007). Al crecer de manera conjunta, las leguminosas y las gramíneas no compiten directamente por el N sino, por el contrario, la consociación de ambas puede llevar a un aumento significativo de la producción y el rendimiento de proteína (Cardinale *et al.*, 2007; Kirwan *et al.*, 2007; Frankow-Lindberg *et al.*, 2009; Nyfeler *et al.*, 2011). Por lo tanto, el uso de leguminosas puede disminuir la necesidad de utilizar fertilizantes nitrogenados, reducir los costos de producción y la contaminación del medio ambiente (Tekeli y Ateş, 2005). La búsqueda, introducción y persistencia de nuevas especies leguminosas nativas con potencial forrajero es posible cuando se conoce la biología (Izaguirre y Beyhaut, 1999), las estrategias de persistencia y las asociaciones con microorganismos del suelo (Bemhaja y Risso, 2006). Hace más de diez años que el equipo de Morfología Vegetal de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (Universidad Nacional de Río Cuarto) estudia a *Adesmia bicolor*, debido a que es una leguminosa nativa, perenne, herbácea, de ciclo indefinido preferentemente invernal (Veneciano *et al.*, 2005; Pereira Machín, 2011; Basconsuelo *et al.*, 2013), tolerante a bajos niveles de Fósforo (P) en suelo (Dodd y Orr, 1995) y con potencial forrajero y capacidad para la FBN asociada con los rizobios nativos del suelo (Bianco *et al.*, 2012; Basconsuelo *et al.*, 2013; Bianco, 2014). Si bien durante estos últimos años se avanzó en los estudios del efecto de la competencia, de la consociación y dinámica de movilización de carbohidratos de *F. arundinacea* y *A. bicolor* (Grassi *et al.*, 2023) es interesante evaluar la capacidad de FBN que presenta *A. bicolor* creciendo consociada. Por ello, se propuso como objetivo de trabajo: cuantificar la biomasa seca total, el contenido de N y el número de nódulos producidos por *A. bicolor* consociada con *F. arundinacea* durante las fases vegetativa, de floración y de fructificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (33°06'23.50" S, 64°17'54.41" O, 452 m snm), Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

El suelo es un haplustol típico de textura franca arenosa muy fina y el clima es templado subhúmedo con régimen de precipitaciones tipo monzónico (Cantero *et al.*, 1986). La precipitación media anual es de 779 mm y los mayores registros de lluvias ocurren entre octubre y marzo con picos en enero y diciembre, mientras que junio y julio son los meses más secos. Las temperaturas medias oscilan entre los 10 °C en julio y los 24 °C en enero (Cantero *et al.*, 1986).

En una superficie de 15 m x 20 m se implantó *Adesmia bicolor* (L.) Poir. "Babosita" población Villa Rumipal-Córdoba (Fam. Leguminosae) en consociación con *Festuca arundinacea* Schreb. "Festuca alta" población 3302-LAG (Fam. Poaceae) (Grassi *et al.*, 2023) (Fig. 1). Esta parcela se dividió en áreas de 2 m x 2 m, a las que se asignaron los distintos tratamientos, en los que se evaluaron cuatro tratamientos resultantes de la combinación de cuatro proporciones de leguminosa vs. gramínea:



Fig. 1. Parcela experimental con cultivo de *Adesmia bicolor* y *Festuca arundinacea* creciendo con-sociados. Año 2021. UNRC.

Fig. 1. Experimental plot with *Adesmia bicolor* and *Festuca arundinacea* cultures growing in asso-ciation. Year 2021. UNRC.

A1:F0 (Control I: *A. bicolor*, cultivo puro), A1:F1 (*A. bicolor* y *F. arundinacea* en proporciones similares), A3:F1 (*A. bicolor* y *F. arundinacea* en proporciones 3 a 1) y A0:F1 (Control II: *F. arundinacea*, cultivo puro). Estos tratamientos se dispusieron en franjas. En el arreglo se colocaron hileras paralelas de plantas a una distancia de 0,50 m. En la proporción 1:1, una hilera presentó plantas de *F. arundinacea* con coronas de 0,05 m de diámetro y la siguiente, champas de 0,05 m x 0,05 m de *A. bicolor*. En los demás casos, se ajustaron las hileras y las especies según los distintos tratamientos (Grassi *et al.*, 2023).

Para evaluar la producción de biomasa seca total producida por *A. bicolor* y *F. arundinacea* se tomaron tres muestras al azar (0,25 m²) durante las diferentes etapas fenológicas (vegetativa, de floración y de fructificación) por tratamiento. El material vegetal fue secado en estufa a 65 °C durante 72 h. Posteriormente se determinó el contenido de N de parte aérea y subterránea (raíces y nódulos radicales) a través del método de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982). Además, durante las mismas fases fenológicas, se contaron el número de nódulos en las raíces de *A. bicolor*. Los datos fueron analizados estadísticamente de acuerdo al arreglo factorial, y para las variables en las que se detectaron diferencias significativas se procedió a efectuar LSD-Fisher con Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa seca total producida por *A. bicolor* consociada con *F. arundinacea* durante las fases de crecimiento

En la especie *A. bicolor* se observó que la mayor producción de biomasa seca total se produce en el cultivo puro (A1:F0). En la etapa de floración se observaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al cultivo puro (A1:F0) y los consociados (A1:F1 y A3:F1) ($p = 0,0002$) (Tabla 1).

En general la biomasa seca total de *A. bicolor* disminuyó lo largo de su crecimiento, con excepción del tratamiento de consociado A3:F1 en el cual se observó un incremento de biomasa nuevamente en la etapa de fructificación, con diferencias estadísticamente significativas de este tratamiento entre las fases de crecimiento ($p = 0,046$) (Tabla 1).

Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Scheffer-Basso et al. (2002) donde se observó que en especies estoloníferas del género *Adesmia*, tales como *A. latifolia* y *A. punctata*, el incremento de biomasa coincide con un mayor desarrollo de hojas. En *A. bicolor* el inicio del incremento en la producción de la biomasa total (aérea y subterránea) se registra a comienzos de la época estival (octubre) coincidiendo con la ramificación de ramas cotiledonares y profilares y con aumento de la longitud de sus entrenudos (Pérez et al., 2020). Esto puede atribuirse a las mayores temperaturas de esta época del año y la distribución de lluvias, ya que las mayores precipitaciones ocurren entre octubre y marzo, con picos en diciembre y enero, siendo normalmente los meses más secos, junio y julio. La variabilidad de

Tabla 1. Biomasa seca total de las especies en consociación a lo largo de las fases de crecimiento. Año 2021. UNRC. Letras minúsculas y mayúsculas diferentes en la misma columna, indican diferencias significativas entre los distintos tratamientos en cada fase de crecimiento y en cada tratamiento a lo largo fase de crecimiento, respectivamente ($p < 0,05$) según test LSD Fisher.

Table 1. Total dry biomass of consociated species throughout growth stages. Year 2021. UNRC. Different lowercase and uppercase letters in the same column indicate significant differences between the different treatments in each growth stage and in each treatment throughout the growth stages, respectively ($p < 0.05$) according to Fisher's LSD test.

Fases de crecimiento	Tratamiento	Biomasa seca total (kg ha ⁻¹) de <i>Adesmia bicolor</i>	Biomasa seca total (kg ha ⁻¹) de <i>Festuca arundinacea</i>
Vegetativa	A1 : F0	576,67±281,99 a A	
	A1 : F1	292,00±11,95 a A	1817,87±1778,04 a A
	A3 : F1	288,53±100,06 a B	109,60±26,84 a A
	A0 : F1		4354,67±744,67 b B
Floración	A1 : F0	479,73±30,33 c A	
	A1 : F1	241,87±38,47 b A	3354,13±2587,47 a A
	A3 : F1	106,53±63,43 a A	2879,47±1679,55 a B
	A0 : F1		2187,33±583,54 a A
Fructificación	A1 : F0	323,73±191,86 a A	
	A1 : F1	234,27±106,61 a A	380,67±310,42 a A
	A3 : F1	265,73±49,49 a B	1247,73±949,07 a A B
	A0 : F1		1535,60±436,62 a A

las lluvias en el área de estudio es muy grande, característica común de la mayoría de las regiones áridas y semiáridas de la Argentina (Veneciano *et al.*, 2005).

En la especie *F. arundinacea* se observó en la etapa vegetativa una mayor producción de biomasa seca total en el cultivo puro (A0:F1) con respecto a los consociados (A1:F1 y A3:F1), con diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p= 0,009$) (Tabla 1).

Por otro lado, se determinó que la producción de biomasa seca total en el cultivo puro (A0:F1) disminuyó a lo largo de su ciclo de vida, siendo superior en etapa vegetativa y presentado diferencias estadísticamente significativas con respecto a las otras fases de crecimiento ($p= 0,002$).

En la etapa de floración la mayor producción de biomasa seca total fue en los tratamientos consociados (A1:F1 y A3:F1), si bien las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p= 0,74$) (Tabla 1).

Contenido de N de la biomasa aérea y subterránea de *A. bicolor* y *F. arundinacea* consociadas durante las fases de crecimiento

El contenido de N de la parte aérea de *A. bicolor* presentó valores superiores en la etapa de floración, con respecto a la etapa vegetativa y de fructificación. En el tratamiento A3:F1 se registró el valor más alto de contenido de N ($135,2 \text{ kg ha}^{-1}$), lo que mostró un efecto positivo de las especies consociadas (Tabla 2).

Con respecto al contenido de N en biomasa subterránea se observaron siempre valores inferiores que en la biomasa aérea. Los valores más altos de contenido de N fueron de $82,0 \text{ kg ha}^{-1}$ en el cultivo puro (A1:F0) en etapa vegetativa y $78,4 \text{ kg ha}^{-1}$ en el tratamiento consociado A3:F1 en floración (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de N de las especies en consociación a lo largo de fases de crecimiento. Año 2021. UNRC.

Table 2. N content of consociating species throughout the growth stages. Year 2021. UNRC.

Fases de crecimiento	Tratamiento	Contenido de N (kg ha^{-1})			
		<i>Adesmia bicolor</i>		<i>Festuca arundinacea</i>	
		Parte aérea	Parte subterránea	Parte aérea	Parte subterránea
Vegetativa	A1: F0	100,8±11,1	82,0±7,2		
	A1:F1	107,6±12,8	74,8±6,9	55,2±4,8	28,4±3,8
	A3:F1	106,8±12,0	75,2±7,5	67,6±6,3	33,6±2,4
	A0:F1			46,4±5,6	37,6±3,1
Floración	A1: F0	132,8±14,3	71,6±8,2		
	A1:F1	116,0±11,1	77,6±6,8	54,8±5,9	22,8±1,7
	A3:F1	135,2±11,8	78,4±8,2	60,0±6,3	22,4±2,8
	A0:F1			52,0±4,4	14,0±1,1
Fructificación	A1: F0	103,6±12,4	60,4±6,0		
	A1:F1	87,2±8,2	66,0±5,9	45,2±5,5	25,6±1,9
	A3:F1	116,0±10,7	59,6±6,8	70,0±7,8	39,6±5,0
	A0:F1			46,0±5,8	36,4±2,6

El contenido de N de la parte aérea de *F. arundinacea* mostró resultados muy variables. El tratamiento de consociados A3:F1 presentó el valor más alto de N en las tres etapas de crecimiento (67,6 kg ha⁻¹ en etapa vegetativa, 60,0 kg ha⁻¹ en floración y 70,0 kg ha⁻¹ en fructificación) reflejando nuevamente una tendencia similar de las especies consociadas en esa proporción.

Al igual que en *A. bicolor* el contenido de N en parte subterránea mostró siempre valores inferiores que en la parte aérea. Todos los tratamientos presentaron valores menores de contenido de N en la etapa de floración. El valor más alto de N se observó en el tratamiento de consociados A3:F1 en la etapa de fructificación (39,6 kg ha⁻¹, Tabla 2).

En los resultados obtenidos se comprobó que en todos los tratamientos *A. bicolor* presentó mayor contenido de N en la parte aérea que en la subterránea (raíces y nódulos), situación que coincide con estudios realizados en otras especies como *A. latifolia* (Scheffer Basso et al., 2001). Esto puede deberse a que en Fabáceas forrajeras de hábito de crecimiento estolonífero, la parte aérea presenta una mayor biomasa que la parte radical. Esta situación es diferente en especies rizomatosas donde la mayor cantidad de materia seca se encuentra en la raíz (Scheffer- Basso et al., 2002).

En los tratamientos de consociaciones cabe resaltar que en general se obtuvieron valores mayores de N en relación a los cultivos puros, lo que coincide con estudios realizados en especies como *Vicia villosa* con *Avena strigosa* Sereb y *Avena byzantina* (Ferreira Casamayouret y Paniagua Alcaráz, 2013). Esto muestra un efecto benéfico en relación a la consociación gramínea-leguminosa. La combinación de las especies permite equilibrar la calidad de biomasa residual y mejorar la calidad del forraje. Además la gramínea aumenta su valor nutritivo y mejora su condición a través de la incorporación de N al suelo por medio de la fijación biológica que realiza la leguminosa asociada (Ferreira Casamayouret y Paniagua Alcaráz, 2013).

Cantidad de nódulos de *A. bicolor* consociada con *F. arundinacea* durante las fases de crecimiento

En la especie *A. bicolor* se observó que en todos los tratamientos la mayor producción de nódulos se produce en la etapa vegetativa y que disminuyó notablemente a lo largo de las fases de crecimiento, presentando valores inferiores en la etapa de floración y fructificación (Fig. 2).

En función de los resultados se determinó que *A. bicolor* presenta mayor capacidad para fijar el N en simbiosis con los rizobios, principalmente en sus primeros estadios de vida, por la alta producción de biomasa seca total, contenido de N y número de nódulos.

A. bicolor a diferencia de otras leguminosas nativas presenta abundante nodulación, esto coincide con otras especies del género, tales como *A. latifolia*, así como otras leguminosas nativas, como *Lupinus aureonitens*, *Rhynchosia hauthalli*, *Stylosanthes* sp. y *Trifolium leiocarpa* (Scheffer-Basso et al., 2000; Westphal Muniz et al., 2012). El momento en que se produce el mayor número de nódulos coincide con estudios previos en otras especies del mismo género, como por ejemplo *Adesmia araujoi*, y

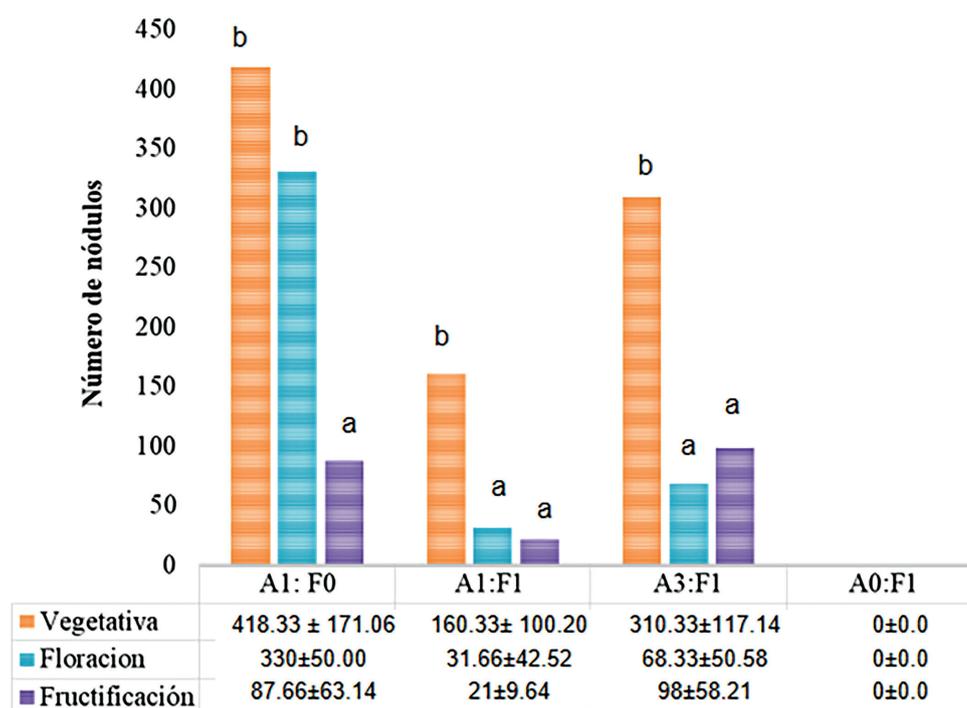


Fig. 2. Número de nódulos producidos por *Adesmia bicolor* asociada con *Festuca arundinacea* durante las diferentes fases de crecimiento (vegetativa, de floración y de fructificación). 2021. UNRC. Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en cada tratamiento a lo largo de las fases de crecimiento ($p < 0,05$) según test LSD Fisher.

Fig. 2. Number of nodules produced by *Adesmia bicolor* associated with *Festuca arundinacea* during different growth stages (vegetative, flowering and fruiting). 2021. UNRC. Different lowercase letters indicate statistically significant differences in each treatment throughout the growth stages ($p < 0.05$) according to Fisher's LSD test.

especies de Fabáceas como *Lupinus aureonitens*, *Rhynchosia hauthalli*, *Stylosanthes leio-carpa* y *Trifolium riograndense* (Scheffer-Basso *et al.*, 2000).

En *A. bicolor*, la disminución de la biomasa seca aérea y el número de nódulos después de la etapa vegetativa puede deberse a que la FBN en un primer momento promueve cambios morfo-fisiológicos en las plantas que resultan en la baja del crecimiento. Los nódulos representan un drenaje adicional de fotoasimilados y nutrientes, compitiendo con otros órganos de la planta (Cassman *et al.*, 1980).

CONCLUSIÓN

Se concluye que *A. bicolor* es efectiva para fijar N tanto en el cultivo puro como consociada principalmente en sus primeros estadios de vida.

Teniendo en cuenta los valores de biomasa total de *F. arundinacea* y el contenido de N en ambas especies se observaron resultados prometedores en los tratamientos consociados A1:F1 y A3:F1, por lo cual se sugiere continuar con estudios que permitan comprender el comportamiento de esta asociación.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Ninguno de los autores presenta conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

- Basconsuelo, S., Grosso, M., Kraus, T., Bianco, C., Bianco, L., Vileta, D. y Malpassi, R. (2013). E-book: Leguminosas nativas con potencial forrajero: *Adesmia bicolor*. *UniRío*. 23 pp. ISBN 978-987-688-038-1. <http://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2021/09/978-987-688-038-1.pdf>
- Bemhaja, M. y Risso, D. F. (2006). Cultivares de forrajeras seleccionados, evaluados y liberados para areniscas. INIA Tacuarembó: 39-56. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7503/1/ST-159-39-55.pdf>
- Bianco, L. (2014). Rhizobial infection in *Adesmia bicolor* (Fabaceae) roots. *Archives of Microbiology* 196: 675-679. <https://doi.org/10.1007/s00203-014-1004-0>
- Bianco, L., Angelini, J., Fabra, A. y Malpassi, R. (2012). Diversity and symbiotic effectiveness of indigenous rhizobia-nodulating *Adesmia bicolor* in soils of Central Argentina. *Current Microbiology* 66: 174-184. <https://doi.org/10.1007/s00284-012-0260-y>
- Bremner, J. M. y Mulvaney, C. S. (1982). "Nitrogen-Total". In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2° ed. Page, A.L., Miller, R.H. y Keeney, D.R. (eds.). Madison, USA (American Society of Agronomy, Inc. & Soil Science Society of America, Inc. Publishers. 595-624.
- Cantero, G. A., Bricchi, E., Becerra, V. H., Cisneros, J. M. y Gil, H. (1986). Descripción y zonificación de las tierras del departamento. Río Cuarto. 1 carta 1:250.000. FAV, UNRC. Río Cuarto, Argentina.
- Cardinale, B. J., Wright, J. P., Cadotte, M. W., Carroll, I. T., Hector, A., Srivastava, D. S., Loreau, M. y Weis, J. J. (2007). Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 18123-18128. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709069104>
- Cassman, K. G., Whitney, A. S. y Stockinger, K. R. (1980). Root growth and dry matter distribution of soybean as affected by phosphorus stress, nodulation, and nitrogen source. *Crop Science* 20: 239-244. <https://doi.org/10.2135/cropsci1980.0011183X002000020022x>
- Cullen, T. (1997). Festuca Alta. Revolución varietal. *Revista Agromercado*: 11-12.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2018). InfoStat. <http://www.infostat.com.ar/>
- Dodd, M. B. y Orr, S. J. (1995). Seasonal growth, phosphate response, and drought tolerance of 11 perennial legume species grown in a hill-country soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 38: 7-20. <https://doi.org/10.1080/00288233.1995.9513099>
- Ferreira Casamayouret, F. y Paniagua alcaráz, P. L. (2013). Evaluación del comportamiento productivo forrajero de *Vicia villosa*, *Avena strigosa* Sereb, *Avena byzantina* koch y la consociación gramínea-leguminosa a diferentes frecuencias de corte,

- en el departamento central. *Investigación Agraria* 8 (2): 17-23. <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/95>
- Frankow-Lindberg, B., Halling, M., Höglind, M. y Forkman, J. (2009). Yield and stability of yield of single- and multi-clover grassclover swards in two contrasting temperate environments. *Grass and Forage Science* 64: 236-245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00689.x>
- Giraldo, V. L. A. (1999). Potencial de la arborea Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica.
- Grassi, E., Malpassi, R., Basconsuelo, S., di Santo, H., Castillo, E., Vega, D. J., Bianco, L., Novaira, M., Novaira, A., Aguirre, L., Gorjon, J., Ferreira, A., Ferreira, V. y Riesgo, G. (2023). Establecimiento y persistencia de babosita (*Adesmia bicolor*) consociada con festuca (*Festuca arundinacea*). *IDESIA* 41 (1): 111-120. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000100111>
- Izaguirre, P. y Beyhaut, R. (1999). Las leguminosas en Uruguay y regiones vecinas. Editorial Hemisferio Sur.
- Kirwan, L., Lüscher, A., Sebastia, M. T., Finn, J. A., Collins, R. P., Porqueddu, C. y Helgadottir, A. (2007). Evenness drives consistent diversity effects in intensive grasslands systems across 28 European sites. *Journal of Ecology* 95 (3): 530-539. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01225.x>
- Lascano, C. E., Ávila, P. y Ramírez, G. (1996). Aspectos metodológicos en la evaluación de pasturas en fincas con ganado de doble propósito. *Pasturas Tropicales* 18 (3): 65-70. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Vol18_rev3_a%C3%B1o96_art12.pdfleguminosas.htm
- Mortenson, M. C., Schuman, G. E y Ingram, L. J. (2004). Carbon sequestration in rangelands interseeded with yellow-flowering alfalfa (*Medicago sativa* ssp. *falcata*). *Environment Management* 33 (1): 475-481. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-9155-9>
- Nguyen, C. (2003). Rhizodeposition of organic C by plants: Mechanisms and controls. *Agronomie-Sciences des Productions Vegetales et de l'Environnement* 23: 375-396. <https://doi.org/10.1051/agro:2003011>
- Nyfelner, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E. y Lüscher, A. (2011). Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140 (1): 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.022>
- Pagliaricci, H. R., Ohanian, A., Pereyra, T. y González, S. (2002). Utilización de pasturas. Especies forrajeras cultivadas de mayor difusión en la región central del país. http://www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_pasturas
- Pagliaricci, H., Saroff, A., Ohanian, A. y Peirano, R. (1990). Variaciones estacionales de los carbohidratos no estructurales totales en Festuca, Falaris, Pasto Ovillo y Agropiro criollo. *Avances en Producción Animal* 15 (1-2): 29-35.
- Paynel, F., Lesuffleur, F., Bigot, J., Diquélou, S. y Cliquet, J. B. (2008). A study of ¹⁵N transfer between legumes and grasses. *Agronomy for Sustainable Development* 28 (2): 281-290. <https://doi.org/10.1051/agro:2007061>

- Pereira Machín, M. (2011). Manejo y conservación de pasturas naturales del Basalto. Reedición. Programas de servicios agropecuarios MGAP-BID. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca-Programa Ganadero. Instituto Plan Agropecuario. ISBN 978-9974-563-94-0
- Pérez, V., Panzitta, M., Vidal, C., Basconsuelo, S., Gorjon, J., Fitzimons, D., Malpassi, R. y Bianco, L. (2020). Ritmo de crecimiento, producción de biomasa y dinámica de movilización de carbohidratos en *Adesmia bicolor* (Poir.) DC (Leguminosae) en cultivo. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 36 (3): 171-180. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaas36-15rcvp80015>
- Rao, S. C., Northup, B. K., Phillips, W. A. y Mayeux, H. S. (2007). Interseeding novel cool-season annual legumes to improve bermudagrass paddocks. *Crop Science* 47 (1): 168-17. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.02.0088>
- Reynolds, S. G. (1982). Contributions to yield, nitrogen fixation and transfer by local and exotic legumes in tropical grass – legume mixtures in Western Samoa. *Tropical Grasslands* 16 (2): 76-80. <https://hdl.handle.net/10568/43306>
- Rimieri, P. y Wolff, R. (2010). La genética y el estado actual de la obtención y adopción de cultivares forrajeros en Argentina. BAG. *Journal of Basic Applied Genetics* 21 (2): 1-7. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-62332010000200008&lng=es&nrm=iso. ISSN 1852-6233
- Rojas Hernández, S., Olivares Pérez, J., Jiménez Guillén, R. y Hernández Castro, E. (2005). Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. *Revista Electrónica de Veterinaria* 6 (5). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63617216009>
- Rolhauser, A. G., Cepeda, S., Pablo, M. H., Rotundo, J. L., Srur, A. M., Fernandez, J. R., Ghera, C. M., León, R. J. C., Perelman, S. B., Batista, W. B. y Aguiar M. R. (2007). Efectos de la frecuencia de corte y la fertilización nitrogenada sobre la estructura de una población implantada de *Festuca arundinacea* Schreb. *Ecología Austral* 17: 89-98.
- Sánchez, A. (1998). Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. FONAIAP. Estación Experimental del Estado de Falcón. Venezuela. <http://www.Ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd50/>
- Scheffer-Basso, S. M., Ávila Jacques, A. V. y Dall'Agnol, M. (2002). Alocação da biomassa e correlações morfofisiológicas em leguminosas forrageiras com hábitos de crescimento contrastantes. *Revista de Scientia Agrícola* 59 (4): 629-634. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000400002>
- Scheffer-Basso, S. M., Carneiro, C. M. y Voss, M. (2000). Nodulação e fixação biológica de nitrogênio em *Adesmia araujoi* Burk. *Revista Brasileira de Zootecnia* 6 (1): 16-18. <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/download/299/294>
- Scheffer-Basso, S. M., Voss, M. y Ávila Jacques, A. V. (2001). Nodulação e fixação biológica de nitrogênio de *Adesmia latifolia* e *Lotus corniculatus* em vasos de Leonard. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30 (3): 687-693. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000300012>
- Scheneiter, O. (2005). Mezclas de especies forrajeras perennes templadas. *El Sitio de la Producción Animal*. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/33-mezclas_forrajeras_perennes_templadas.pdf

- Spehn, E. M., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B. y Hector, A. (2002). The role of legumes as a component of biodiversity in a cross-European study of grassland biomass nitrogen. *Oikos* 98 (2): 205-218. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980203.x>
- Tekeli, A. S. y Ateş, E. (2005). Yield potential and mineral composition of white clover (*Trifolium repens* L.)-tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) mixtures. *Journal of Central European Agriculture* 6: 27-34.
- Trannin, W. S., Urquiaga, S., Guerra, G., Ibjibjen, J. y Cadisch, G. (2000). Interspecies competition and N transfer in a tropical grass-legume mixture. *Biology & Fertility of Soils* 32 (6): 441-448. <https://doi.org/10.1007/s003740000271>
- Veneciano, J. H., Frasinelli, C. A., Kraus, T. A. y Bianco, C. A. (2005). Domesticación de especies forrajeras. Córdoba (Universidad Nacional de Río Cuarto).
- Westphal Muniz, A., Dalla Costa, M., Wolff, C. L., Faria De Oliveira, W. A. y Saccol De Sá E. L. (2012). Seleção de estirpes de rizóbio para *Adesmia latifolia* (Spreng.) Vogel. *Biotemas* 25 (1): 177-180. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n1p177>
- Wichern, F., Mayer, J., Joergensen, R. G. y Müller, T. (2007). Rhizodeposition of C and N in peas and oats after ¹³C-¹⁵N double labelling under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2527-2537. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.04.022>