



ATN_RF-16926-RG. Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: plataforma de cooperación Latinoamericana y del Caribe

Producto 6: Informes técnicos anuales. Fijación biológica por leguminosas forrajeras en la Región Oriental del Paraguay

**Javier Szostak; Alodia González; Amalio Mendoza
2024**



Ministry for Primary Industries
Manatū Ahu Matua



FONTAGRO



Códigos JEL: Q16
ISBN: sin registro

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Javier Szostak; Alodia González; Amalio Mendoza, investigadores del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, IPTA.

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVO	7
METODOLOGÍA	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
CONCLUSIONES	10
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
INSTITUCIONES PARTICIPANTES	13



RESUMEN

Las áreas utilizadas para ganadería en la zona norte de la Región Oriental del Paraguay están caracterizadas por suelos degradados, con compactación superficial y pérdida de fertilidad química, particularmente una escasa capacidad de proveer nitrógeno para crecimiento de las plantas forrajeras. El aporte de nitrógeno por parte de leguminosas forrajeras a través del proceso de fijación biológica de nitrógeno atmosférico podría ser una vía eficiente para remediar este problema. Uno de los objetivos de IPTA es evaluar el desempeño de la FBN en leguminosas que integran praderas mixtas de leguminosas y gramíneas tropicales. Para ello, en este trabajo se han seleccionado ambientes de topografía contrastante (alto vs. bajo) en los que han coexistido desde hace varios años las leguminosas *Arachi pintoii* y *Alysicarpus vaginalis* en mezcla con la gramínea tropical *Paspalum notatum*, con el fin de cuantificar el desempeño de la fijación biológica de nitrógeno. Los resultados indican un funcionamiento activo, aunque algo variable, de la FBN en las dos leguminosas en ambos ambientes. En principio, esto augura que sería posible lograr un eficiente ingreso de nitrógeno en estos sistemas en la medida que estas leguminosas sean una parte importante de la composición botánica de la pradera mixta.

Palabras Clave: Leguminosas forrajeras, fijación biológica, producción ganadera



ABSTRACT

The areas used for livestock farming in the northern part of the eastern region of Paraguay are characterized by degraded soils, with surface compaction and loss of chemical fertility, particularly a poor capacity to provide nitrogen for the growth of forage plants. The contribution of nitrogen by forage legumes through the process of biological fixation of atmospheric nitrogen could be an efficient way to remedy this problem. One of the objectives of IPTA is to evaluate the performance of FBN in legumes that make up mixed legume and tropical grass meadows. To this end, in this work, environments with contrasting topography (high vs. low) have been selected in which the legumes *Arachi pinto* and *Alysicarpus vaginalis* have coexisted for several years in a mixture with the tropical grass *Paspalum notatum*, to quantify the performance of biological nitrogen fixation. The results indicate an active, although somewhat variable, functioning of the FBN in the two legumes in both environments. In principle, this predicts that it would be possible to achieve an efficient entry of nitrogen in these systems to the extent that these legumes are an important part of the botanical composition of the mixed meadow.

Keywords: Forage legumes, biological fixation, livestock production



INTRODUCCIÓN

El ciclo global del nitrógeno (N) está constituido por cinco fases primarias: mineralización, nitrificación, desnitrificación, fijación biológica e inmovilización. La actividad humana ha influido en la mayoría de los procesos que componen estas fases, en especial la fijación del abundante y estable N_2 molecular, que representa 79% de la atmósfera en formas aprovechables para los cultivos de leguminosas (Echegaray-Alemán, 1995).

Ante las nuevas realidades de la economía, la alimentación de los rebaños tiene que enfocarse hacia nuevas alternativas, como las leguminosas forrajeras. Éstas constituyen una fuente nutritiva de alto valor, por su contenido de proteínas y calcio, al mismo tiempo que actúan como mejoradoras del suelo. Pueden utilizarse en asociaciones con gramíneas y en bancos de proteínas, si bien algunas presentan limitaciones por su contenido de sustancias tóxicas (Sánchez, 2001).

En Paraguay la implantación de leguminosas forrajeras en el Chaco (Región Occidental), constituyó un avance importante para suministrar al suelo N en cantidades altas y de bajo costo (Glatzle, 2008). Así mismo, la situación de los suelos utilizados en la ganadería en la zona norte de la Región Oriental manifiesta condiciones de compactación superficial, pérdida de la fertilidad, especialmente falta de N (Fast, 2019). Sánchez (2001) menciona que entre las tantas potencialidades que presentan las leguminosas en la ganadería, una de ellas es la de mejorar los suelos desde el punto de vista de la fertilidad, pues tienen la propiedad de fijar el N gaseoso de la atmósfera, a través de una simbiosis con microorganismos bacterianos del género *Rhizobium*.

El N es el elemento más abundante en la atmósfera, representando el 79% del volumen total. Éste se encuentra en forma de dinitrógeno (N_2), estado en el cual no está disponible para el crecimiento vegetal (Unkovich et al., 2008). Asimismo, el N es uno de los elementos más limitantes en los ecosistemas terrestres para el desarrollo de las plantas. Un grupo minoritario de procariontes conocidos como diazótrofos, en vida libre o en simbiosis, son capaces de reducir el N_2 a NH_4^+ , forma que puede ser utilizada por las plantas. Este proceso es conocido como “fijación biológica de nitrógeno” (FBN) (Lussich, 2020).

Las leguminosas asociadas con gramíneas, según Sánchez (2001), se pueden definir como la interrelación armónica y equilibrada entre dos o más especies, siendo en este caso de gramíneas y leguminosas. Estas asociaciones se pueden realizar con leguminosas nativas que se encuentran presentes en el pastizal o con especies introducidas ya probadas. En ocasiones, las especies naturales se ven amenazadas a desaparecer por acción del hombre quien, desconociendo sus bondades, realiza prácticas de mantenimiento de potreros como el control químico de malezas, perjudicándolas gravemente. Esto desmejora significativamente las condiciones nutricionales del pastizal.



Las leguminosas forrajeras han incrementado su presencia en la producción ganadera tropical. Esto se debe, fundamentalmente a sus bondades, entre las que figura su contribución a la fijación biológica del N atmosférico en el suelo, la rápida descomposición de su materia vegetal y su aporte proteico a la dieta animal (Olivares-Pérez et al., 2011). La cantidad de N fijado por algunas leguminosas puede variar de 20 a 560 kg/ha año, dependiendo del suelo y de la humedad disponible en el medio agroecológico. Por ende, el eventual aporte de N a partir del uso de leguminosas que fijan N es muy importante considerando que es el nutriente más deficitario en el suelo en forrajes tropicales (Rincón y Villalobos, 2021). Sin embargo, es muy escasa la información local.

OBJETIVO

El objetivo de este reporte es evaluar la proporción de N derivado de la fijación biológica de N₂ atmosférico (Ndfa) en dos especies leguminosas creciendo en praderas mixtas con *Paspalum notatum*. Con esto se espera relevar la variabilidad de las leguminosas forrajeras en su dependencia de la FBN para aportar N, para valorar la importancia de la FBN con respecto al empleo de la suma total del N de sistemas de producción ganadera.

METODOLOGÍA

Localización del estudio y características edafoclimáticas.

La investigación se realizó en una finca ganadera localizada al Noroeste de la región Oriental del Paraguay, en el Departamento de San Pedro, Distrito de Itacurubí del Rosario (24° 37' 50,4" S y 56° 38' 37,3" O. (Figura 1). El clima es subtropical, con temperatura anual media de 23° C y precipitación anual media de 1500 mm (Grassi, 2020).

Los suelos de la región se caracterizan por formar lomadas, con pendientes suaves de 0-3 %, posee numerosos cursos de agua como ríos y arroyos. Los suelos se corresponden al Alfisol, subgrupo Mollic, textura francosa gruesa, derivados de rocas areniscas, con contenido de 10-18 % de arcilla, y con nula rocosidad (López Gorostiaga et al., 1995). El suelo se encuentra cubierto con pasturas nativas, así como islas de bosques nativos.



Figura 1. Disposición de praderas en el sitio experimental, y foto del muestreo.

Muestreos de plantas

El trabajo se realizó en dos ambientes definidos por la topografía del suelo (zona alta y zona baja). Las especies leguminosas introducidas en cobertura fueron *Arachis pinto* y *Alysicarpus vaginalis*; las gramíneas, *Paspalum notatum* y *Brachiaria humidicola*. En cada combinación de topografía y especie se obtuvieron cuatro réplicas. Cada replica consistió en una muestra de 20 cm x 50 cm (Figura 1) con plantas de leguminosas forrajeras (*Arachis pinto* y *Alysicarpus vaginalis*) y de no leguminosas (*Paspalum notatum* y *Brachiaria humidicola*).

Determinación de la proporción de nitrógeno derivado de la fijación biológica de N₂ atmosférico

La vegetación de cada muestra se separó manualmente en sus componentes botánicos. La Ndfa se estimó utilizando la metodología de abundancia natural de ¹⁵N, que compara la abundancia natural del isótopo estable ¹⁵N en plantas leguminosas fijadoras de N con la de plantas de referencia no fijadoras, cultivadas bajo las mismas condiciones.

$$Ndfa (\%) = [(\delta^{15}N \text{ referencia} - \delta^{15}N \text{ leguminosa}) / (\delta^{15}N \text{ referencia} - B)] \times 100$$

donde $\delta^{15}N$ es el enriquecimiento en ¹⁵N expresado en ‰ en relación con el N atmosférico (0,3663%), $\delta^{15}N$ referencia es el $\delta^{15}N$ de la planta no fijadora teniendo al N del suelo como única fuente nitrogenada, $\delta^{15}N$ leguminosa es el $\delta^{15}N$ de la especie leguminosa, y B es el $\delta^{15}N$ de la



leguminosa teniendo al N₂ atmosférico como única fuente de N.

Se utilizaron plantas de *Paspalum notatum* Flüggé. creciendo en la misma pradera como valor de referencia. Como no se disponía de valor B local, se utilizó un valor promedio de -1.35 per mil para *Arachis pintoii* basado en Unkovich et al. (2008), y de -1.50 per mil para *Alysicarpus vaginalis*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en *Paspalum notatum*, *Alysicarpus vaginalis* y *Arachis pintoii* creciendo en pasturas mezcla en ambientes con topografía diferente (“ambiente alto” y “ambiente bajo”).

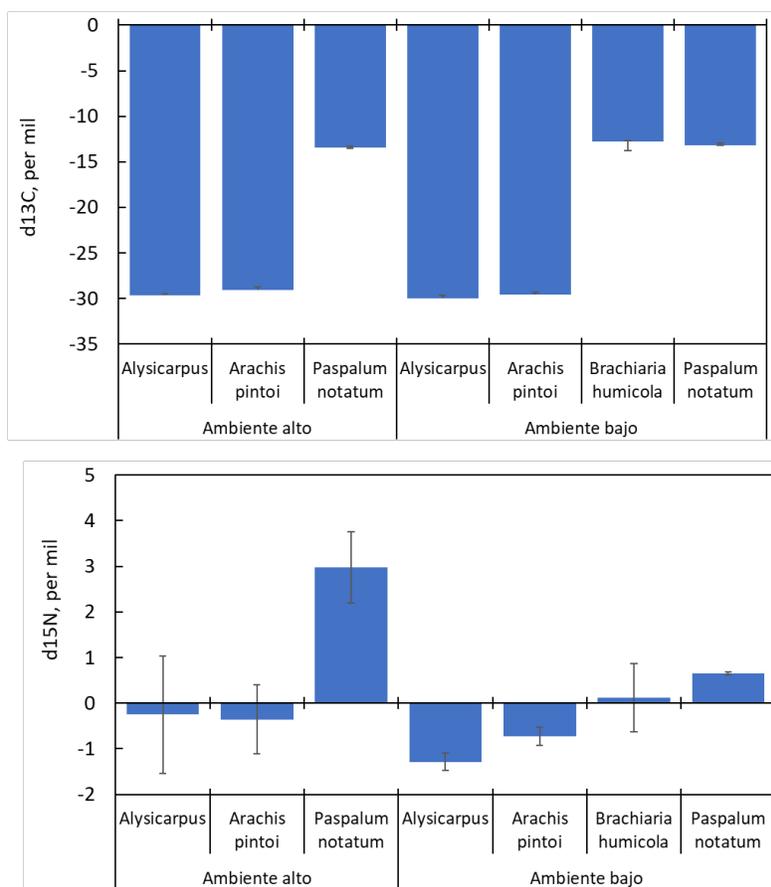


Figura 2. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de *Paspalum notatum*, *Alysicarpus vaginalis* y *Arachis pintoii* creciendo en pasturas mezcla en ambientes con topografía diferente (“ambiente alto” y “ambiente bajo”)



Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ indican esperablemente que las muestras de gramíneas eran de especies de tipo C4 y por ende enriquecidas en ^{13}C . En el caso de $\delta^{15}\text{N}$, *Paspalum* muestra valores positivos tanto en el ambiente bajo como en el alto, siendo más de 2 per mil mayor en esta última.

En cuanto a los valores de ^{15}N , las muestras de leguminosas de ambas especies mostraron valores negativos, tanto en el ambiente alto como en el bajo. Esto es indicativo de una activa FBN. Efectivamente, la Tabla 2 muestra que los valores de Ndfa fueron esencialmente superiores al 70%.

Los valores de ^{15}N de las gramíneas fueron mucho más variable entre ambientes, y sustancialmente menores en el ambiente bajo. La razón de esta variabilidad no es clara, aunque podría acusar diferencias en la materia orgánica entre suelos de zonas altas vs. bajas.

Tabla 2. Proporción de nitrógeno derivado de la fijación biológica de N_2 atmosférico (Ndfa) en plantas de *Alysicarpus vaginalis* y *Arachis pintoii* en dos ambiente topográficos (alto y bajo) en pastura mezcla con *Paspalum notatum* (promedio y desvío estándar).

Ambiente	Especie	Ndfa, %	DE, %
ALTO	<i>Alysicarpus vaginalis</i>	72.2	28.7
	<i>Arachis pintoii</i>	77.1	17.4
BAJO	<i>Alysicarpus vaginalis</i>	90.0	9.2
	<i>Arachis pintoii</i>	68.9	10.1

CONCLUSIONES

El desempeño de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en plantas de leguminosas creciendo en praderas mezcla con gramíneas tropicales fue alto, pero relativamente variable, especialmente en el ambiente alto. Esto indicaría que estas leguminosas son capaces de realizar un eficiente ingreso de nitrógeno en estos sistemas, en la medida que sean una parte importante de la composición botánica de la pradera mixta.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barea, J. (1991). Cuantificación de la fijación biológica de N mediante el uso de ^{15}N . Vol. II. Fijación de N y micorrizas. p. 105-124. *In* J. Olivares y J. Barea (eds.). Fijación y movilización biológica de nutrientes. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, RAYCAR S.A., Madrid, España.
- Boschi, F., Latorre, P., Saldanha, S., Machado, J., Bentancur O. y Moure S. (2016). Importancia de las semillas duras en leguminosas forrajeras producidas en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 20: 43-50.
- Carlsson G. y Huss-Danell K. (2003). Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil*, 253: 353–372.
- Danso, S.K.A. (1995). Assessment of biological nitrogen fixation. *Fertilizer Research*, 42: 33-41.
- Echegaray-Alemán, A. (1995). Ciclo del nitrógeno y fases que lo constituyen. pp. 7-35. *In*: Ferrera-Cerrato, R. y J. Pérez-Moreno (eds.). *Agromicrobiología: Elemento útil en agricultura sustentable*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Fast, R., Martens, L. y Fast, A. (2019). Experiencias sobre integración agricultura - ganadería. Obtenido de <https://www.arp.org.py/images/ima2019/2%20EXPERIENCIAS%20SOBRE%20INTEGRACION%20C3%93NAGRICULTURA%20GANADER%20C3%8DA%20ARP%202019%20Alfred%20Fast.pdf>
- Grassi, B. (2020). Estudio del clima de Paraguay. MADES-STP. Asunción, Paraguay.
- Glatzle, A. (2008). Gramíneas y Leguminosas para el Chaco: adaptación y potencialidades. Obtenido de: https://www.produccionimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/116-Nac-06-AlbrechtGlatzle.pdf
- Hardarson, G., Zapata, F. y Danso, S.K.A. (1984). Field evaluation of symbiotic nitrogen fixation by rhizobial strains using ^{15}N methodology. *Plant Soil*. (82), pp. 369-375.
- Hofer, D., Suter, M., Buchmann, N. y Lüscher, A. (2017). Nitrogen status of functionally different forage species explains resistance to severe drought and post-drought overcompensation. *Agriculture Ecosystem Environment*, 236: 312-322.



- López Gorostiaga, O; González Érico, E; de Llamas G, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Ríos, E. 1995. Mapa de reconocimiento de suelos de la región oriental del Paraguay: proyecto de racionalización de uso de la tierra. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). Py. Cartografía e Impresión: Williams & Heintz Map Corporation. Esc 1:500.000. Color.
- Mallarino, A.P., Wedin, W.F., Perdomo, C.H., Goyenola, R.S. y West, C.P. (1990). Nitrogen transfer from White Clover, Red Clover, and Birdsfoot Trefoil to Associated Grass. *Agronomy Journal*, 82: 790- 795.
- Morris, D.R, Weaver, R.W., Smith, G.R. y Rouquette, F.M. (1990). Nitrogen transfer from arrowleaf clover to ryegrass in field plantings. *Plant and Soil*, 128: 293-297.
- Nyfeler, 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 Ecosystem Environment*, 140: 155-163.
- Olivares-Pérez, J., Avilés-Nova, F., Albarrán-Portillo, B., Rojas-Hernández, S. y Castelán-Ortega, O. A. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14: 739-748.
- Peoples, M., Chalk, P., Unkovich, M. y Boddey, R. (2015). Can differences in ^{15}N natural abundance be used to quantify the transfer of nitrogen from legumes to non-legume plant species?. *Soil Biology Biochemistry*, 87: 97-109.
- PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur). (2018). I. información básica. Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: plataforma de cooperación Latinoamericana y del Caribe". *Procisur-DOCUMENTOS-Proyecto Consensuado Leguminosas*. https://www.procisur.org.uy/adjuntos/procisur_documentos-proyecto-consensuado-leguminosas_8fb.pdf.
- Rincon, A. y Villalobos, M. (2021). Producción animal en pasturas de tres leguminosas asociadas con *Urochloa decumbens* en los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajeras Tropicales*. 17 (2), 192–205. [https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/download/851/430#:~:text=En%20la%20Orinoquia%20colombiana%20\(Llanos,nuevo%20nombre%3A%20Grona%20heterocarpa%20subsp.](https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/download/851/430#:~:text=En%20la%20Orinoquia%20colombiana%20(Llanos,nuevo%20nombre%3A%20Grona%20heterocarpa%20subsp.)
- Sánchez, A (2001). Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. *Sitio*

Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturaspasturas/artificiales/38-leguminosas_como_potencial_forrajero.pdf.

Unkovich M., Herridge D., Peoples M., Cadisch G., Boddey R. y Giller K. (2008). Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Canberra: ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research), 258 p.

<https://www.aciar.gov.au/publication/books-and-manuals/measuring-plant-associated-nitrogen-fixation-agricultural-systems>

Vincent, J.M. (1982). Nitrogen fixation in legumes. 288 p. Academic Press, Sidney, Australia.

Xiao, Y., Li L. y Zang F. (2004). Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and faba bean using direct and indirect ¹⁵N techniques. *Plant and Soil*, 262: 45-54.

INSTITUCIONES PARTICIPANTES



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org
Correo electrónico: fontagro@fontagro.org