

53. Árboles y sotobosque en sistemas silvopastoriles de ñire: ¿Competencia o facilitación por N?

Gargaglione, V.^{1,2}, Peri, P.L.^{1,2,3}, Rubio, G.^{3,4}, Lázzari, M. A.⁵

Resumen

Si bien los bosques de ñire son muy utilizados como sistemas silvopastoriles, existen escasos estudios que evalúen las interacciones existentes entre los estratos arbóreo y herbáceo. El objetivo de este trabajo fue detectar si predominan procesos de facilitación o de competencia entre los componentes vegetales por el recurso nitrógeno (N). Se instalaron dos parcelas de 25m² en un sistema silvopastoril de ñire y en una zona aledaña sin árboles (pastizal abierto). En ambos se agregó nitrato de amonio enriquecido al 10% con átomos de ¹⁵N y se evaluó la evolución de este N marcado en los estratos arbóreo y herbáceo a lo largo de la temporada de crecimiento. El pastizal abierto produjo mayor cantidad de biomasa que el estrato herbáceo del sistema silvopastoril, aunque éste último presentó las mayores concentraciones de N. En éste, del N total aéreo, un 60-70% provenía del fertilizante marcado, mientras que en el pastizal abierto los porcentajes fueron del 20-30%. Los árboles absorbieron mucho menos el ¹⁵N agregado, con un máximo de 6% en ramas finas. El sistema silvopastoril recuperó un 65% más del ¹⁵N aplicado que el pastizal abierto. Esto se dio por una mayor retención en los componentes aéreos y subterráneos del estrato herbáceo más la absorción de los árboles. Los resultados demuestran que el estrato herbáceo del sistema silvopastoril fue capaz de absorber mayores cantidades del N aplicado, indicando que los árboles entonces producen un efecto de facilitación en la absorción del N.

Palabras clave: Interacciones, isótopos, *Nothofagus*, Nitrógeno.

Tree-grass interactions in ñire sylvopastoral systems: N competition or facilitation?

Abstract

Patagonian *Nothofagus antarctica* forest are usually used as sylvopastoral systems. However, there are no information about positive or negative interactions between trees and grasses in these systems. The aim of this work was to evaluate the interaction (competence or facilitation) between grasses and trees for nitrogen (N) in *N. antarctica* sylvopastoral systems. Two 25m² plots with *N. antarctica* trees and an adjacent open grassland were established. In both cases ammonium nitrate fertilizer enriched with ¹⁵N at 10% atoms in excess was applied in the sylvopastoral and open grassland. ¹⁵N dynamics in soil, grasses and trees components were evaluated over the growth period. Open grassland had higher total and aerial dry matter production, but sylvopastoral grassland showed the highest N concentrations. From total aerial N, sylvopastoral grassland recovered 60-70% from enriched fertilizer, whereas only 20-30% of aerial N occurred in open grassland. Trees absorbed lower quantities of fertilizer, being 6% the maximum ¹⁵N recovered. Fertilizer was recovered 65% more in sylvopastoral systems compared with open grassland. This was due to a higher ¹⁵N retention in grasses and N absorption by trees. These results highlight that grasses growing under trees absorbed higher amounts of fertilizer, indicating that trees provided N facilitation to grasses.

Keywords: Nitrogen, isotope, *Nothofagus*.

Introducción

Si bien un alto porcentaje de los bosques de ñire en Patagonia Sur son utilizados como sistemas silvopastoriles la mayoría de estos sistemas se usan de manera extensiva sin pautas de manejo preestablecidas. Sin embargo, existen algunas evidencias de que los sistemas silvopastoriles pueden ser manejados de manera tal que permita optimizar el uso de los recursos espacial, temporal y físicamente, maximizando las interacciones positivas (facilitación) y minimizando las negativas (competencia) entre los componentes (Jose *et al.*, 2004). Holmgren *et al.* (1997) postulan que debido a que los procesos de facilitación y competencia se dan simultáneamente, la condición requerida para que la facilitación ocurra es que el mejoramiento de un factor ambiental (ej. agua, nutrientes) debajo del dosel exceda al incremento en la demanda de ese factor causada por las limitantes en las condiciones de otro factor (ej.: luz). Un proceso de facilitación sería por ejemplo, el aporte de nutrientes de los árboles hacia la pastura mediante la caída de hojarasca. Si este aporte positivo superara aquellos efectos negativos como ser la competencia por luz y/o agua, la facilitación sería el proceso dominante.

El nitrógeno (N) es uno de los recursos considerados

más limitantes en la mayoría de los ecosistemas, incluyendo los forestales (Vitousek y Howarth, 1991). En el caso de los sistemas silvopastoriles los trabajos acerca de competencia por nutrientes entre componentes (árboles y estrato herbáceo) son escasos (Jose *et al.*, 2004) o incluso inexistentes para el caso de Patagonia Sur. Las aplicaciones de fertilizantes enriquecidos con altas proporciones de ^{15}N permiten evaluar su seguimiento en los distintos compuestos vegetales y del suelo (Millard, 1996). Con el N marcado también es posible realizar estudios acerca de las relaciones que existen entre los distintos componentes de un sistema. Por ejemplo, en un sistema silvopastoril se puede conocer qué proporción de N disponible en el suelo es absorbida por los árboles y qué proporción es captada por el estrato herbáceo, y de este modo entender qué tipo de relaciones se establecen entre estos componentes (procesos de competencia o facilitación). Esta información es relevante para determinar pautas de manejo y diagramación de sistemas silvopastoriles eficientes. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue el detectar si predominan procesos de facilitación o competencia entre los componentes vegetales por el recurso N , utilizando el agregado de fertilizante con ^{15}N .

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en un bosque de *N. antarctica* entre 21 y 110 años, en una clase de sitio III (altura de árboles maduros dominantes entre 8 y 10 m) (densidad de 4750 árboles ha^{-1} y área basal de 31,3 $m^2 ha^{-1}$), y en una zona aledaña sin árboles (pastizal abierto). Ambos sitios se encuentran ubicados en la Estancia Cancha Carreras (51° 13' 21" S 72° 15' 34" O). El estrato herbáceo en ambos casos presenta una cobertura vegetal de 80 a 100%, conformado principalmente por gramíneas entre las que se destacan *Agrostis capillaris*, *Festuca gracillima*, *Festuca magellanica*, *Dactylis glomerata*, *Bromus setifolius* y *Carex sp.* El suelo del sistema silvopastoril presenta una textura franca arenosa, pH de 4,9, 0,6 % de N total de y 5,6 % de carbono orgánico (CO), mientras que el suelo del pastizal abierto presenta una textura franca, pH de 5,3, 1,2 % de N total y 5,5 % de CO. Para evaluar el sistema silvopastoril se establecieron dos parcelas de 25 m^2 (5 x 5 m) con 4 árboles por parcela. Dentro de cada parcela se colocaron 3 jaulas

de clausura de 1,8 m^2 para evaluar la dinámica del ^{15}N del estrato herbáceo. Para el tratamiento de pastizal abierto, se eligió una zona adyacente de pastizal natural donde se colocaron 3 jaulas 1,8 m^2 . A cada tratamiento se agregó una cantidad conocida de nitrato de amonio enriquecido ($^{15}NH_4^{15}NO_3$) al 10 % de átomos en exceso (á.e.) de ^{15}N al inicio de la temporada de crecimiento (noviembre). La cantidad de nitrato de amonio a aplicar se calculó en base a los requerimientos de N para árboles individuales de *N. antarctica* de esa edad (8 g de N por árbol $año^{-1}$). En el caso del estrato herbáceo, se aplicó una cantidad total de 24,7 $kg N ha^{-1}$ (2,47 $g m^{-2}$), también obtenido en base a los requerimientos estimados para el pastizal de la zona. En base a estos requerimientos y considerando un plus de 30% por pérdidas en aplicación, se agregó un total de 10,3 $g m^{-2}$ y 13,4 $g m^{-2}$ de nitrato de amonio marcado en el pastizal abierto y en el sistema silvopastoril, respectivamente.

Para determinar la absorción de N del estrato herbá-

ceo se cuantificó la biomasa aérea realizando cortes adentro de las jaulas con un marco de 0,1 m² a los 30, 60, 90, 120 y 150 días posteriores a la aplicación del fertilizante y se obtuvieron 3 muestras de 20 g por tratamiento para estimar concentración. Asimismo, se obtuvieron 3 muestras de 50 gr de las raíces en cada fecha. Todas las muestras se secaron a 55° C, para analizar su concentración de N y ¹⁵N. La cuantificación de la biomasa total subterránea del pastizal se efectuó al final de la temporada de crecimiento, correspondiente al último corte. Con los datos suministrados por el laboratorio (concentración de N total y % de á.e. de ¹⁵N en las muestras), se calculó la fracción de N derivado del fertilizante marcado (%Nddf) (Fiedler y Proksch, 1975) utilizando la fórmula:

$$\%Nddf = [\%a.e. \text{ } ^{15}\text{N en planta} / \%a.e. \text{ } ^{15}\text{N en fertilizante}] \times 100$$

En donde:

% á.e. = % de átomos en exceso, el cual se obtiene del % total de átomos de ¹⁵N en la muestra menos la abundancia natural de ¹⁵N (0,3663 % át. ¹⁵N) (Fiedler y Proksch, 1975).

La cantidad total de N por hectárea se determinó multiplicando la biomasa de cada componente del pastizal por su correspondiente concentración de N. Para evaluar la absorción arbórea, al final de la temporada de crecimiento (mayo) se cuantificó la biomasa total acumulada y concentración de ¹⁵N en todos los compartimentos del árbol (fuste, corteza, ramas, hojas, raíces gruesas, medias y finas) y se calculó el N total y el Nddf. Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio CATNAS (Montevideo, Uruguay). Para detectar diferencias en biomasa, concentración y acumulación de N, se realizaron ANOVAS con el test F. Las diferencias entre medias fueron separadas mediante el test de Tukey a un nivel de significancia de p < 0,05.

Resultados

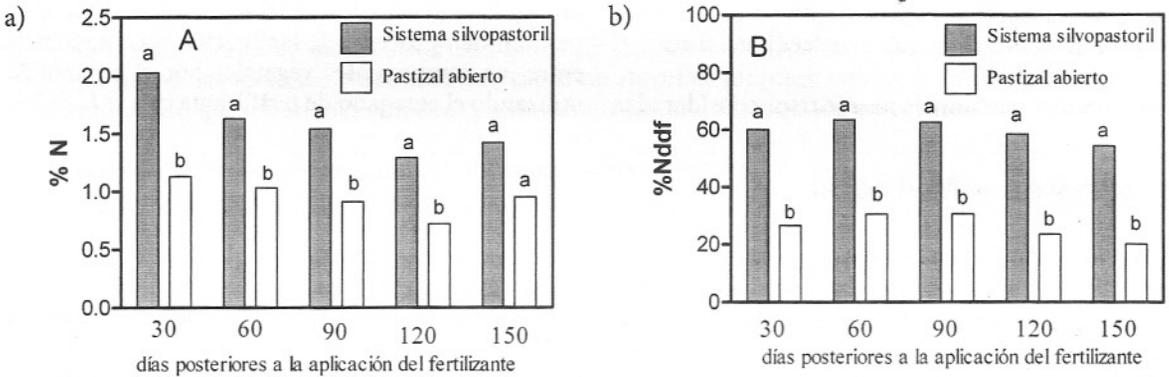


Figura 1. Concentraciones de A) N total (%) y B) % de N derivado de fertilizante (Nddf) para la porción aérea del estrato herbáceo creciendo en un sistema silvopastoril de N. antarctica y en situación de pastizal abierto, en distintos momentos desde la aplicación del fertilizante marcado con ¹⁵N (noviembre 2006). Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos.

La biomasa total del estrato herbáceo (aéreo + subterráneo) fue significativamente mayor en el pastizal abierto. El pico de mayor producción se dio a los 90 días posteriores a la aplicación del fertilizante (mes de marzo) y correspondió a un total de 8193 y 18597 kg MS ha⁻¹ para el estrato herbáceo creciendo en el sistema silvopastoril y el pastizal abierto, respectivamente. El componente subterráneo representó el 73% y 84% de la biomasa total del estrato herbáceo del sistema silvopastoril y pastizal abierto, respectivamente. La parte aérea presentó mayores variaciones a lo largo de la temporada, presentando una cantidad máxima de 2091 y 3165 kg MS ha⁻¹ para los

mismos tratamientos.

La concentración de N en el pastizal fue siempre superior en el componente aéreo y tendió a disminuir con el tiempo, excepto en la última fecha de muestreo donde se observó un incremento. Las concentraciones oscilaron desde 1,3% a 2,0% y de 0,7% a 1,1% de N para el estrato herbáceo del sistema silvopastoril y pastizal abierto, respectivamente (Figura 1A). En todos los casos, con excepción de la última fecha de muestreo, el pastizal abierto presentó significativamente menores concentraciones (Figura 1A). Las raíces no difirieron en concentración de N, variando de 0,63 a 1,66% dependiendo del momento en la

temporada de crecimiento. Por otra parte, el estrato herbáceo del sistema silvopastoril presentó mayores porcentajes de *N* proveniente del fertilizante (*Nddf*) (54-63%) comparado con el pastizal abierto (20-31%) (Figura 1B).

Las raíces del estrato herbáceo también fueron destino para el ¹⁵N aplicado, presentando valores de 28-57% y 6-10% de *Nddf* para los tratamientos silvopastoril y pastizal abierto, respectivamente.

En el estrato arbóreo también se detectó la presencia de ¹⁵N, aunque en menor proporción en comparación al estrato herbáceo. El mayor valor de %*Nddf* lo obtuvo la albura (5,5%), ramas finas (5,2%) y raíces finas (4,1%).

El sistema silvopastoril presentó mayor cantidad de *N* ha⁻¹ que el pastizal abierto (290 vs. 186 kg *N* ha⁻¹) debido en gran parte a la acumulación de los árboles (199 kg *N* ha⁻¹) (Tabla 1). Sin embargo, comparando solo el estrato herbáceo, el pastizal abierto acumuló casi el doble de *N* que el estrato herbáceo del sistema silvopastoril, siendo el componente raíces el que pre-

sentó la mayor proporción de *N* (85,5% en el pastizal abierto vs. 66,6% en el sistema silvopastoril) (Tabla 1). En cuanto al ¹⁵N aplicado, éste fue absorbido en mayor proporción en el sistema silvopastoril que en el pastizal abierto (Tabla 1). Por ejemplo, mientras el estrato herbáceo dentro del sistema silvopastoril acumuló un total de 32,4 kg ha⁻¹ de *N* marcado, el pastizal abierto sólo presentó casi 15 kg ¹⁵N ha⁻¹. Asimismo, en el sistema silvopastoril una parte también fue absorbida por los árboles (10 kg ¹⁵N ha⁻¹). Considerando todos los componentes, el sistema silvopastoril recuperó casi tres veces más de ¹⁵N marcado que el pastizal abierto (42,3 vs. 14,9 kg ¹⁵N ha⁻¹). Por su parte las raíces del estrato herbáceo en el silvopastoril absorbieron entre el 50 y el 63% del total del ¹⁵N. Los árboles por su parte, derivaron hacia las raíces solo un 19% del ¹⁵N absorbido (Tabla 1). En este sentido es importante destacar que el ñire presenta un sistema radical superficial, por lo que compartió el perfil de absorción con los pastos.

Tabla 1. Cantidades de *N* total y ¹⁵N aplicado (kg ha⁻¹) acumulado en un sistema silvopastoril con árboles de *N. antarctica* de entre 21-110 años, en una clase de sitio III (altura dominante = 8-10 m) vs. un pastizal abierto en el SO de la provincia de Santa Cruz. Entre paréntesis se observa el desvío estándar de las medias.

Componente	Sistema Silvopastoril		Pastizal abierto	
	<i>N</i> total	¹⁵ N	<i>N</i> total	¹⁵ N
Árboles				
Aéreo	144,8 (± 23,5)	8,0 (±0,9)	-	-
Subterráneo	54,2 (± 6,7)	1,9 (± 0,2)	-	-
Total	199,0 (±30,0)	9,9 (± 1,5)	-	-
Estrato herbáceo				
Aéreo	30,4 (± 9,2)	16,0 (± 4,7)	28,9 (± 2,3)	5,5 (±1,0)
Subterráneo	60,7 (± 7,5)	16,4 (± 1,8)	157,2 (±15,6)	9,4 (± 3,4)
Total	91,1 (± 6,1)	32,4 (± 5,5)	186,1 (± 17,1)	14,9 (±2,8)
Total Sistema	290,1	42,3	186,1	14,9

Discusión

El estrato herbáceo produjo menor cantidad de biomasa en comparación al pastizal abierto, posiblemente debido a la menor disponibilidad de luz (Scholes y Archer, 1997). En cuanto a la distribución de la biomasa es importante destacar el rol de las raíces, el cual representó entre el 73 y 83% de la biomasa total en el sistema silvopastoril y pastizal abierto respectivamente. Fernández *et al.* (2004) observaron que las raíces de *Festuca pallezens* creciendo en el norte de Patagonia representaron el 60% de la bio-

masa total bajo sombra de *Pinus ponderosa* y el 70% en condición abierta. El estrato herbáceo del sistema silvopastoril, al experimentar sombra de los árboles, destinaría más recursos hacia la parte aérea para aumentar la captación del factor limitante luz.

La concentración de *N* fue mayor en el estrato herbáceo del sistema silvopastoril, lo cual es concordante con Peri *et al.* (2005) quienes observaron que el % de proteína bruta disminuía a medida que aumentaba la transmisividad lumínica.

El ^{15}N aplicado permite observar, entre otras cosas, qué cantidad del N disponible fue absorbida en una temporada de crecimiento y hacia qué órganos fue destinado. Los valores de $\%N_{\text{cdf}}$ indican que la porción aérea fue el principal destino del N aplicado, presentando el estrato herbáceo del sistema silvopastoril valores de hasta un 60-70% del N derivado del fertilizante, mientras que en el pastizal abierto los valores observados en la parte aérea fueron muy inferiores (entre 21 y 35%). Estas diferencias de absorción podrían deberse a que existan diferencias entre los procesos de mineralización e inmovilización de N por los microorganismos de ambos sistemas. Los microorganismos del pastizal abierto posiblemente hayan inmovilizado mayor cantidad de N . Kaye y Hart (1997) concluyeron que las bacterias y hongos compiten activamente por el N inorgánico con las plantas, y que depende fuertemente de las características del sustrato a descomponer lo que determina los procesos de mineralización y descomposición. En nuestro estudio, el sistema silvopastoril poseería mayor cantidad y calidad de residuos para descomponer, ya que los árboles aportan anualmente gran cantidad de detritos (hojarasca y ramas finas) con una importante concentración de N . Este aporte tendría una baja relación $C:N$ y por ende produciría una menor inmovilización de N en comparación al pastizal abierto.

La proporción de ^{15}N derivado del fertilizante encontrada en los árboles fue muy inferior a la observada en los pastos, obteniendo valores máximos de hasta un 6% de N_{cdf} . Buchmann *et al.* (1996) y Cheng *et al.* (2004) encontraron resultados similares analizando árboles y sotobosque de *Picea abies* y *Quercus*, respectivamente. Con respecto a la distribución del N en los árboles de este estudio, el ^{15}N fue detectado en todos los componentes leñosos, lo que indica una alta distribución y movilidad del N recientemente absorbido a lo largo de todo el árbol. Sin embargo, el estrato arbóreo absorbió un 69%

Conclusiones

El estrato herbáceo del sistema silvopastoril, si bien produjo menores cantidades de biomasa, absorbió mayores cantidades del ^{15}N aplicado que el pastizal abierto.

En este sistema silvopastoril los árboles y el estrato herbáceo comparten gran parte del perfil de absorción de N .

Sin embargo, los primeros no compitieron fuertemente con los pastos por el ^{15}N aplicado si no que

menos de ^{15}N aplicado en comparación al estrato herbáceo del sotobosque (Tabla 1). Estas diferencias se deberían a que los árboles comienzan la absorción de N más tarde en la temporada, ya que gran parte del N de las primeras hojas al inicio de la misma provendría de reservas (Neto *et al.*, 2008) y a que las gramíneas presentan una tasa de crecimiento superior y consecuentemente una mayor tasa de absorción de nutrientes. Por otra parte, en este estudio se observó que el pastizal abierto presentó mayores cantidades de biomasa y cantidad de N por hectárea, pero gran parte de esta producción fue derivada hacia la parte subterránea. En cuanto a biomasa aérea, si bien el estrato herbáceo del sistema silvopastoril presentó entre un 30 y 37% menos biomasa que el pastizal abierto, en términos de N por hectárea casi no se detectaron diferencias (Tabla 1). Esto indicaría que la menor productividad en biomasa del estrato herbáceo fue compensada por una mayor calidad de éste, ya que fue capaz de absorber mayores cantidades de ^{15}N . Esto puede deberse, a una mejora en las condiciones ambientales (disminución del efecto del viento con una consecuente mayor humedad disponible en el suelo y por ende aumento en absorción de agua y nutrientes) o bien a una menor competencia por este nutriente con los microorganismos del suelo. Estos resultados indicarían que los árboles, al crear un micro ambiente más favorable de crecimiento y menor competencia con los microorganismos del suelo por N , tendrían un efecto de facilitación indirecto sobre los pastos que produciría una mayor absorción de N por parte de éstos. Este hecho tendría repercusión inmediata en el manejo de estos sistemas, por ejemplo, la quita desmedida de árboles a fin de favorecer áreas de pastoreo podría conllevar a una disminución de la productividad del sistema a largo plazo, ya que para el caso del N , se demostró que el sistema árboles-pastos tendió a hacer un mayor y mejor uso del fertilizante aplicado que el pastizal abierto.

al contrario, ya sea mediante una mejora en las condiciones micro ambientales o mediante la creación de un ambiente menos competitivo por N con los microorganismos del suelo, permitieron una mayor absorción de este recurso por el parte del estrato herbáceo. Esto indicaría que en este sistema existe un efecto de facilitación indirecto de los árboles hacia los pastos para la absorción de N .

Referencia

- Buchmann, N., Gebauer, G., Schulze, E.D., 1996. Partitioning of ^{15}N labelled ammonium and nitrate among soil, litter, below and aboveground biomass of trees and understory in a 15-year-old *Picea abies* plantation. *Biogeochemistry* 33, 1-23.
- Cheng, L., Ma, F., Ranwala, D., 2004. Nitrogen storage and its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply. *Tree physiology* 24, 91-98.
- Fernández, M. E., Gyenge, J. E. and Schlichter, T. M., 2004. Shade acclimation in the forage grass *Festuca pallescens*: biomass allocation and foliage orientation. *Agroforestry Systems* 60, 159-166.
- Fiedler, R., Proksch, G., 1975. The determination of nitrogen -15 by emission and mass spectrometry in biochemical analysis: a review. *Analytica Chimica Acta*, 1-62. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Holmgren, M., Scheffer, M., Huston, M. A. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology*, 78 (7): 1966-1975.
- Jose, S., Guillespie, A. R., Pallardy, S. G., 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61, 237-255.
- Kaye, J. P., Hart, S. C., 1997. Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. *Trees* 12 (4), 139-143.
- Millard, P., 1996. Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *Z. Pflanzenernähr Bodenk* 159, 1-10.
- Neto, C., Carranca, C., Clemente, J., de Varennes, A., 2008. Nitrogen distribution, remobilization and re-cycling in young orchard of non-bearing "Rocha" pear trees. *Scientia Horticulturae* 118 (4), 299-307.
- Peri, P. L., Sturzenbaum, M. V., Monelos, L., Livraghi, E., Christiansen, R., Moreto, A., Mayo, J. P., 2005. Productividad de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) de Patagonia Austral. *Actas III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Comisión Silvicultura Bosque Nativo. Corrientes, 6 al 9 de Septiembre 2005. Pp 10.*
- Scholes, R. J., Archer, S. R., 1997. Tree-grass interactions in Savannas. *Annual Review of Ecology Systems* 28, 517-544.
- Vitousek, P. M., Howarth, R. W., 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur?. *Biogeochemistry* 13, 87-115.