

MEJORAR LA COMPETITIVIDAD OPTIMIZANDO LA FIJACIÓN SIMBIÓTICA DE NITRÓGENO EN TRÉBOLES



El trébol blanco es una especie presente en forma natural en las praderas permanentes del sur de Chile.

Ricardo Campillo R.
Ingeniero Agrónomo, M. S.
rcampill@carillanca.inia.cl

INIA Carillanca

Cuando se han corregido las limitaciones de fertilidad y de agua, los estudios indican que es posible alcanzar tasas de fijación de nitrógeno bastante altas, comparables a las reportadas en Nueva Zelanda y Gran Bretaña. Es decir, existe una alta potencialidad del mecanismo biológico que permite un ahorro significativo de fertilizantes nitrogenados para praderas permanentes.

Las praderas existentes en el sur del país se desarrollan sobre una amplia superficie de suelos derivados de cenizas volcánicas, conocidos como trumaos (Andisoles) y rojo arcillosos (Ultisoles). Éstos presentan particularidades químicas, tales como déficit generalizado de fósforo y bajos contenidos de bases —principalmente de calcio— asociados a niveles limitantes de aluminio de intercambio y pH, que afectan la productividad y calidad de las praderas.

Está ampliamente establecido que la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en leguminosas forrajeras depende de algunas características químicas de los suelos. En este sentido, la acidez y la deficiencia generalizada de fósforo que presentan los suelos derivados de cenizas volcánicas, limitan la eficiencia de la fijación.

Presencia de trébol en distintas praderas

Las praderas naturalizadas —debido fundamentalmente a un bajo nivel de fertilidad del suelo—, están compuestas por especies de bajo valor forrajero, tienen presencia marginal de trébol, y su productividad es menguada y marcadamente estacional.

Las praderas mejoradas se conforman mayoritariamente con especies de valor forrajero medio, como pasto dulce, bromo y alfalfa chilota, y, en menor medida, por especies de alto valor, como trébol blanco, ballica perenne y pasto ovillo. También se aprecia una baja proporción de especies malezas. La mayoría de estas praderas proviene de praderas naturalizadas, a las cuales se les ha aplicado algunas tecnologías de mejoramiento, como uso de cerco eléctrico, fertilización y drenaje, entre otras.

Finalmente, las praderas sembradas por lo general son permanentes, existiendo una pequeña proporción de praderas de rotación corta. Están compuestas por especies de alto valor forrajero, gracias a lo cual tienen un gran potencial de producción y requieren un buen nivel de fertilidad.

Una pradera degradada llega a esa condición principalmente por problemas de fertilidad de suelo y, en segundo término, por otros factores de

	Tipo de pradera	Precordillera de la Costa	Precordillera de los Andes	Llano Central
Condición existente	Naturalizada	21	13	16
	Mejorada	13	23	27
Condición potencial	Naturalizada	57	30	55
	Mejorada	42	56	97

manejo. En consecuencia, la corrección de los problemas de fertilidad del suelo es la tecnología de mayor impacto en el aumento de producción de las praderas permanentes.

El trébol blanco es una especie presente en forma natural en las praderas permanentes de la zona y constituye la base de las praderas mejoradas y de aquellas establecidas, como último cultivo de la rotación usada.

Capacidad de fijación simbiótica

En la medición de la fijación de nitrógeno se han utilizado diferentes técnicas, tales como diferencias entre una planta leguminosa (fijadora) y otra no fijadora respecto a la acumulación de nitrógeno total o al rendimiento de materia seca. Sin embargo, ambas evaluaciones sólo proveen una medida indirecta, ya que son incapaces de distinguir entre el nitrógeno proveniente de la actividad simbiótica y aquel aportado por el suelo o el fertilizante. La técnica de reducción del acetileno, que ha probado ser útil para este tipo de evaluaciones, también tiene detractores debido a que mide la actividad de la enzima nitrogenasa de los nódulos en un corto período de tiempo, no

permitiendo obtener valores integrados de fijación biológica durante un tiempo significativo (semanas o meses).

Las técnicas que marcan el suelo con nitrógeno-15 (N-15, isótopo estable, no radioactivo, del elemento nitrógeno) para medir fijación biológica son consideradas como las más confiables, por ser las únicas que miden directamente la fijación. Es decir, diferencian en la planta la proporción de nitrógeno procedente del suelo, de un fertilizante o de la atmósfera, dando valores de fijación integrados para todo un ciclo de crecimiento de un determinado sistema leguminosa-rizobio.

Cuánto fija el trébol blanco

Existen antecedentes más bien contradictorios en relación al verdadero potencial que alcanza el proceso de fijación biológica de nitrógeno en las praderas permanentes de la zona sur, en particular en la IX y X Región.

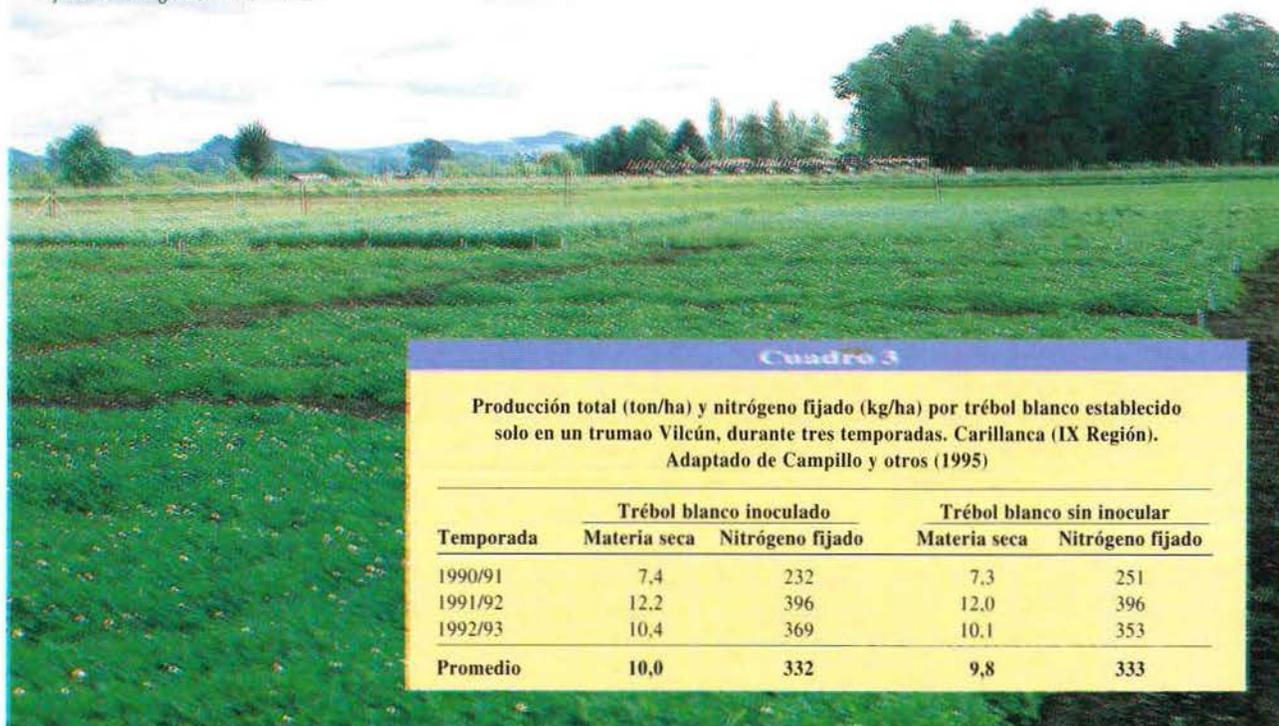
En la década de los 80 se hicieron mediciones iniciales de la actividad simbiótica en trébol blanco de praderas permanentes en tres zonas edafoclimáticas de la provincia de Osorno (costa, llano longitudinal y precordillera andina), mediante el método de la reducción del acetileno. Sus resultados arrojaron valores entre 56 y 78 kg de nitrógeno/ha/año. Estas estimaciones distan bastante de las obtenidas en otras latitudes, como Nueva Zelanda, donde el aporte de nitrógeno por fijación simbiótica en praderas permanentes de trébol blanco con ballica perenne fluctúa entre 100 y 300 kg de nitrógeno/ha/año.

Usando el mismo método, INIA Remehue realizó recientemente una prospección en praderas mejoradas y naturalizadas de diferentes lugares de la X Región. Las evaluaciones se hicieron en su con-

Zona agroecológica X Región	Rendimiento materia seca (ton/ha)	Trébol blanco (% base peso seco)	FBN en condición potencial ⁽¹⁾ (kg/ha/año)
Precordillera de la Costa	4,9	9,3	42
Llano Central	7,0	13,5	73
Precordillera de los Andes	5,6	11,8	46

⁽¹⁾Muestreo sobre trébol blanco.

Ensayos de campo de la evaluación de la fijación de nitrógeno en trébol blanco.



Cuadro 3

Producción total (ton/ha) y nitrógeno fijado (kg/ha) por trébol blanco establecido solo en un trumao Vilcún, durante tres temporadas. Carillanca (IX Región). Adaptado de Campillo y otros (1995)

Temporada	Trébol blanco inoculado		Trébol blanco sin inocular	
	Materia seca	Nitrógeno fijado	Materia seca	Nitrógeno fijado
1990/91	7,4	232	7,3	251
1991/92	12,2	396	12,0	396
1992/93	10,4	369	10,1	353
Promedio	10,0	332	9,8	333

dición existente (muestreando al azar sobre el potrero), y en su condición potencial (dirigiendo el muestreo sobre estolones de trébol blanco). En el cuadro 1 (página 41) se observa que, independientemente del tipo de pradera, existe una gran diferencia entre la FBN de la condición existente y potencial en cada una de las macro áreas. La baja actividad de fijación estimada en el muestreo al azar, se explica por la escasa presencia de trébol blanco en las muestras de la pradera mejorada (cuadro 2, página 41). Según la metodología de reducción del acetileno, al extrapolar las cifras indicadas, representarían la situación no sólo de los predios evaluados sino también de la gran mayoría de los predios de la X Región. Estas estimaciones reflejarían el exiguo aporte del nitrógeno vía fijación simbiótica de las praderas de la zona (Teuber, Barrientos y Angulo, 1996). Sin embargo, otros trabajos realizados en macetas, utilizando N-15 para marcar suelos con variados grados de acidificación (trumaos Osorno, Mechaico y Chonchi), indican valores superiores de fijación de nitrógeno para trébol blanco. Pero lo importante de estos resultados es el valor que puede alcanzar la FBN se-

gún el grado de acidez de los suelos. Así, el Andisol Mechaico, que presentaba un grado importante de acidificación (16% de saturación de aluminio), sólo logró un 47% de fijación. En cambio, en los otros suelos, en que la saturación con aluminio era de 5%, la fijación llegó a un 84% (trumao Chonchi) y a 92% (trumao Osorno). Los valores señalados demuestran el efecto depresivo del aluminio sobre la capacidad de fijar nitrógeno del trébol.

Las praderas naturalizadas de la zona intermedia de Aysén han mostrado incrementos productivos y dominancia relativa de trébol blanco, luego de la aplicación de fertilizantes fosfatados y azufrados, producto de la corrección de las limitaciones de fertilidad presentada por los suelos. De esta manera, se estimó que la fijación simbiótica de nitrógeno sería superior a los 250 kg/ha, en praderas mixtas naturalizadas de Aysén.

El impacto positivo sobre la FBN que se logra con la corrección de las limitaciones químicas del suelo también ha sido evaluado en suelos trumaos del valle central regado de la IX Región. Mediante técnicas isotópicas con N-15, se evaluó la fijación de N₂ en trébol blanco de-

sarrollado sobre un suelo sin limitaciones desde el punto de vista de fertilidad de suelo (P Olsen 29 ppm; pH agua 6,2; aluminio de intercambio 0,01 cmol⁺/kg). La inoculación de la semilla con rizobio específico no tuvo efecto en las producciones acumuladas de trébol blanco ni en la cantidad de nitrógeno fijado (kg/ha) por el trébol blanco establecido solo (cuadro 3). Ello significa que en condiciones de fertilidad adecuada, la inoculación artificial no tiene mayor influencia, puesto que la infección natural con las cepas del suelo es muy buena. En todas las temporadas, los niveles de fijación son elevados y confirman la alta eficiencia de este mecanismo biológico. Paralelamente se evaluó la mezcla típica de las praderas sembradas (trébol blanco y ballica perenne). Las producciones de materia seca total acumulada fluctuaron entre 10,7 y 14,3 ton/ha. A nivel de especies, el trébol blanco aportó entre 6 y 7,9 ton/ha.

El trébol blanco, tanto de la mezcla como de especie pura, alcanzó niveles de fijación superiores al 88% en promedio (cuadro 4). Se observan valores similares de fijación, en ambas formas de establecimiento. Sólo se producen diferen-

Cuadro 4

Índices de fijación de nitrógeno por trébol blanco solo y en mezcla con ballica perenne, durante tres temporadas. Carillanca, IX Región.
Adaptado de Campillo y otros (1995)

Temporada	Nitrógeno fijado por trébol blanco solo			Nitrógeno fijado por trébol blanco en mezcla		
	%	kg/ha	kg/ton*	%	kg/ha	kg/ton*
1990/91	87	232	32	95	218	37
1991/92	89	396	33	89	248	33
1992/93	88	369	36	84	272	34
Promedio	88	332	34	89	246	35

*N por tonelada de materia seca de trébol blanco

cias cuando la fijación se expresa en kilos por hectárea, puesto que este parámetro se calcula a partir de la biomasa cosechada de la leguminosa, la cual es diferente en mezcla y como especie pura. En cambio, cuando la fijación se expresa como kilos de nitrógeno por tonelada de materia seca de trébol blanco, se obtienen valores muy similares en ambas situaciones. El potencial de fijación simbiótica de nitrógeno que presenta el trébol blanco desarrollado en suelos derivados de cenizas ha sido también corroborado por recientes estudios en macetas, donde se evaluó la efectividad para FBN de once cepas de *Rhizobium leguminosarum* var. *trifolii*, en cuatro suelos de la IX Región marcados con N-15. Se encontró que, en general, las cepas nativas fueron muy eficientes, llegando en el tercer corte a valores de fijación de 79% en trumao Curacautín, 59% en rojo arcilloso Mentrenco y 83% en trumao Vilcún.

Alto potencial

Los antecedentes analizados permiten afirmar que los tréboles desarrollados en praderas del sur de Chile pueden ser un aporte significativo de nitrógeno, cuando se dan las condiciones y el mecanismo biológico puede expresarse sin limitación. Ello significa corregir las eventuales limitaciones físicas, químicas y biológicas de los suelos que sustentan las praderas. Adicionalmente, deben utilizarse metodologías de medición de la fijación que permitan medir el proceso en períodos de crecimiento significativos. Las características de los suelos y su grado de impacto, han sido determinantes en la gran variabilidad de valores estimados para la fijación de nitrógeno.



Evaluación de invernadero en trébol blanco en distintos suelos de origen volcánico.

Normalmente, estos suelos presentan déficit generalizado de macronutrientes como el fósforo, de bases de intercambio (principalmente calcio), limitaciones marcadas de pH, altos tenores de aluminio de intercambio y saturación de aluminio. En esta condición, tampoco se puede descartar el impacto de deficiencias de algunos micronutrientes, como molibdeno y boro.

Otro elemento de gran influencia en las estimaciones del proceso de fijación de nitrógeno es la elevada capacidad de mineralización de nitrógeno que exhiben los suelos derivados de cenizas volcánicas, principalmente los andisoles. En suelos trumaos con alto contenido de nitrógeno mineral o materia orgánica, es muy difícil obtener los beneficios que otorga una fijación simbiótica eficiente de nitrógeno, ya que éste es uno de los factores que comúnmente inhibe o suprime la nodulación y la fijación de N_2 . Cabe recordar que el laboreo de estos

suelos favorece un intenso proceso de mineralización de aquellas fracciones fácilmente descomponibles de la materia orgánica y de los residuos frescos que se reciclan anualmente. Dicho factor ha sido la principal causa de las bajas y erráticas estimaciones de nitrógeno fijado, sobre todo por el trébol blanco, especie que comúnmente se expresa en forma marginal en la composición botánica de las praderas permanentes o naturalizadas del sur de nuestro país.

En los últimos años, en Chile se ha publicado un número creciente de trabajos que utilizan las técnicas isotópicas con N-15 para medir la fijación simbiótica de nitrógeno de leguminosas forrajeras, en invernadero y en el campo. En general, cuando se han corregido las limitaciones de fertilidad y de agua, los estudios indican que es posible alcanzar tasas de fijación bastante altas, comparables a aquellas reportadas en Nueva Zelanda y Gran Bretaña. Es decir existe una alta potencialidad del mecanismo biológico que permite un ahorro significativo de fertilizantes nitrogenados para praderas permanentes de nuestro país, con las consiguientes ventajas de rentabilidad y sustentabilidad de los sistemas de producción. Cabe señalar que la analítica isotópica fue obtenida con la cooperación del Organismo Internacional de Energía Atómica, Proyecto CHI/5/014, Técnicas Nucleares en Agricultura. ▲