

Contribución de la Fijación Biológica de Nitrógeno a la Nutrición Nitrogenada de la Alfalfa en la Región Pampeana

Elaborado a partir de los datos obtenidos del Proyecto Nacional de INTA:
“Fijación biológica de nitrógeno para el desarrollo sostenible de los sistemas Agrícolas – Ganaderos” PRONALFA

Racca R, Pollino D, Dardanelli J, Basigalup D, González N, Brenzoni E, Hein N y Balzarini M

1. ANTECEDENTES

La alfalfa posee elevado potencial de rendimiento, estabilidad en la producción y un mayor contenido de proteínas, sales minerales y vitaminas. (Conrad, Klopfenstein, 1988). Todas estas características la llevan a tener requerimientos nutricionales que se consideran de los más altos entre numerosos cultivos, superando en sus necesidades de N, P, K, Mg y S al trigo, maíz, sorgo, soja y girasol. (Culot, 1986)

El principal rasgo nutricional es el alto contenido de N total que, casi exclusivamente en forma de proteínas y aminos, se ubica principalmente en hojas. La concentración y la remoción de N igualan o excede a la de cualquier otro nutriente. (Lanyon & Griffith, 1988)

En condiciones de:

Regadío: para producir 21.3 y 47.5 Tn Ms/ha/año extrajo 784 1120 Kg de N/ha respectivamente. (Ball & TenEyck, 1980)

En seco: para producir 15 Tn Ms/ha/año extrajo 450 Kg/N/año. (Romero, 1977)

Normalmente gran parte (43 al 64 %) de sus requerimientos nitrogenados los satisface por medio de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) a través de su relación simbiótica con la bacteria Sinorhizobium Meliloti. (Heichel, 1983)

Este amplio rango en las estimaciones de N fijado esta determinado por una serie de factores: (Vance, 1988)

1. Cepa del Rizobio y su interacción con el genotipo de la planta.
2. pH: Las cepas naturalizadas eran abundantes con pH de suelo de 6,5 – 7, escasas a pH 6.3 y prácticamente nulas a pH inferiores a 5.8.
3. Contenido de P y K del suelo
4. Disponibilidad de humedad.
5. Manejo.

Contenido promedio de 3 % N en la Materia Seca. (White 1986).

Se ha determinado que aumento a 3.4 y 4.4 % cuando se inoculo con cepas introducidas, infiriendo en mayor eficiencia. (Romero et al, 1976)

No hay datos precisos en el país de la cantidad de N fijado, ni la cantidad de N que quedaría disponible para los cultivos posteriores.

Se han detectados aumentos significativos en la producción forrajera cuando la semilla era inoculada artificialmente. (Olivero, 1976).

En suelos con alto nivel de rizobios naturalizados, no detectaron diferencias significativas en ensayos a campo (White 1977-1978)

Existe una gran variabilidad en cuanto al potencial de FBN por parte de las cepas naturalizadas y que la eficiencia de estas se supone generalmente inferior a la de las cepas seleccionadas. (White, 1986).

2. OBJETIVOS

- a) Cuantificar la FBN y estimar su importancia relativa en la nutrición nitrogenada de variedades de alfalfa con distinto grado de reposición invernal, en áreas ecológicamente diferentes de la región pampeana.
- b) Determinar el efecto de factores bióticos (variedad y rizobios) y abióticos (clima, suelo y agua) sobre la eficiencia de la FBN.

3. METODOLOGIAS

- a) Diseño experimental
- b) Producción de forraje y FBN
- c) Caracterizaciones rizobiológicas.

Población naturalizada en el suelo.

Grado de ocupación nodular (% cepas introducidas -naturalizadas). Sistema Nodular:

- a) % plantas noduladas,
- b) N° nódulos/planta,
- c) Ubicación de los nódulos en la raíz principal y secundaria.
- d) Caracterización del nódulo, en grandes, medianos y chicos.
- e) Caracterización del color interno de los nódulos en rosados, blancos y marrones.
- f) Caracterización de la forma de los nódulos en unilobulados, palmados y arracimados
 - d) Caracterizaciones edáficas.
 - e) Caracterizaciones hídricas.

Eficiencia promedio de uso del agua máxima, expresadas en Kg ms/mm.

Cultivar	Estación			
	primavera	verano	otoño	Invierno
Monarca	27.6	26.4	19.7	23.2
Victoria	30.5	26.2	19.8	19.9

- f) Análisis estadísticos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones edáficas que predisponen la FBN

Las variables edáficas de mayor peso fueron: pH, MO (materia orgánica), P (fósforo), DA (densidad aparente) y EA (eficiencia del agua) – estabilidad de los agregados.

MO y DA fluctuaron dentro de un rango de valores no limitantes, en forma directa, para la producción de forraje y la FBN.

En cambio, el pH presentó un valor crítico de 6, en la capa de 0 – 15 cm. (Lanyon & Griffith).

Respecto del P el valor crítico es de 25 ppm (Berardo & Marino, 2000)

Respecto a EA, fueron creciendo, pero no limitaron la producción ni FBN.

Aporte de N por Fijación Biológica.

El total de n aportado por la FB, respecto del consumo total del cultivo, fluctuó entre el 23.7 (CV 23 -24 %) y 81.7 % (CV 18-34 %).

No hubo diferencia entre variedades.

El promedio general obtenido en el ensayo es similar al promedio de 200 kg de N/ha/año de FBN mencionado por Vance, 1988.

Rizobios en el suelo y en el sistema nodular.

Los rizobios con capacidad de formar nódulos (infectivos) estuvieron presentes en todas las profundidades estudiadas – hasta 130 cm -, las localidades y durante las 4 campañas.

El 80 % de la variabilidad total puede ser explicada por dos componentes principales:

- a) % plantas noduladas
- b) Actividad nodular – nódulos rosados, blancos, marrones -
- c) Edad del nódulo – unilobulados jóvenes, palmados y arracimados)

La evaluación cuali – cuantitativa de la masa nodular en el perfil de suelo permitió detectar la presencia de nódulos en el sistema radical del cultivo hasta la profundidad de 1.10 m. la densidad nodular, aunque presentó mucha variabilidad, fue similar en todo el perfil.

Los rizobios incorporados con el inoculante, fueron capaces de formar nódulos durante las 4 campañas y en todo el perfil, indicando que las cepas introducidas conservaron su infectividad y compitieron eficientemente con las cepas naturalizadas.

Cuando ocurren fenómenos ambientales generadores de estrés para la planta, ésta detonará la senescencia total o parcial de sus nódulos. En alfalfa los nódulos son de tipo meristemático, lo que implica que en respuesta a una situación de estrés moderado, parte o todo el tejido funcional en la FBN puede morir pero persiste el meristema nodular, que es capaz de dar lugar a nuevo crecimiento, en la medida que la situación de estrés se revierta.

Respecto a la nodulación inicial, medido % de plantas noduladas, fue mayor en aquellos suelos que presentaron altos contenidos de Ca y un pH próximo a la neutralidad, porque su población naturalizada, también fue mayor. En esta fase temprana, y si el P no es limitante, el agua es el factor que regula, en la relación directa, la magnitud de la nodulación.

Altos niveles de MO, del orden del 5%, con la potencialidad de mineralización de N que éstos conllevan y al igual que la acidez, de ninguna manera impiden este fenómeno si bien, limitan su expresión.

La emisión de raíces nuevas está gobernada por la disponibilidad de agua. Estas raicillas son receptivas para la formación de nódulos aún a una profundidad superior al metro.

La exposición de sistemas radicales sin disturbar en el estrato superficial del suelo bajo una intensa sequía, mostró a la raíz principal muy pobre de raicillas secundarias y

prácticamente sin nódulos. Por el contrario, en una situación sin limitantes hídricas, se encuentran gran abundancia de nuevas raicillas muy cortas, unidas a la raíz principal, que albergaban nódulos nuevos en el estrato de 0 – 30 cm.

Normalmente en profundidad (entre 50 y 120 cm), se observan la existencia de nódulos en ramilletes coracoides o en racimos. Si el diámetro es superior a 1 cm. indicarían que el estrés hídrico al que fueron sometidos, ha sido moderado.

Es destacable la ductilidad de los nódulos para instalarse en las grietas y planos de clivaje de los agregados del suelo perdiendo su volumen característico y adoptando un aspecto laminar y manteniendo sin embargo la funcionalidad (horizonte b2).

La población de *Sinorhizobium Meliloti* en vida saprofítica en el suelo, tendió a aumentar a través de los años de cultivo. La inoculación contribuye a ello pero también juega un rol importante la estimulación provocada por los exudados radicales de la alfalfa en todo el perfil evaluado.

Las cepas naturalizadas dominan en general los sistemas nodulares considerando los sitios experimentales en su conjunto, aunque en algunas campañas y localidades, las cepas introducidas fueron las que formaron el mayor % de nódulos.

El predominio relativo de una de las cepas inoculadas sobre la otra no reconoce interacciones con el cultivar.

La competitividad de las cepas provenientes del inoculo versus las naturalizadas en el estrato de 0 – 30 cm. fue elevada, variando de un 30 % (Manfredi) de nódulos ocupados hasta un 75 % (Villegas) en tanto que en profundidad los valores variaron entre un 14 % (Anguil) y 53 % (Villegas).

A lo largo de los años, disminuyó la proporción de nódulos ocupados por cepas introducidas desde un 57 % durante la primera mitad del ensayo a un 31 % en la segunda, en el estrato 0 – 30 cm y de un 42 % a un 23 % en profundidad. Este comportamiento indicaría una mayor persistencia de los nódulos formados a partir de las cepas naturalizadas o a una mayor disponibilidad y/o competitividad de estas últimas, a lo largo del tiempo.

Los resultados de productividad, de acumulación de N y la proporción de éste que proviene de la FBN parece ser entonces la combinación de una combinación de la actividad de las cepas naturalizadas e introducidas. Han sido funcionales y eficientes en todos los sitios experimentales y a lo largo de los años del ensayo, tanto en superficie como en profundidad. La presencia de nódulos hasta 1 m de profundidad, formados por ambos tipos de cepas, sugieren que las bacterias han llegado posiblemente arrastradas por el agua.

La nodulación, como fenómeno biológico, se da aisladamente aún en plantas enfermas. Sin embargo, un estado sanitario deteriorado implica globalmente menor masa nodular.

Balance de agua y eficiencia en el uso de agua (EUA)

La relación entre EUA y concentración de P disponible muestra que el umbral es de 26 ppm, similar a los 25 ppm establecidos por Berardo & Marino (2000) para la producción de forraje en la región pampeana.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo la FBN fue cuantificada de dos maneras:

- 1 % del total de N consumido por el cultivo.
- 2 Kg de N/ha/año fijados por las plantas en su fitomasa aérea.

- 1) La FBN de ambas variedades fue similar y del orden del 55 %. Bajo condiciones ambientales limitantes los % de N derivados de la FBN mostraron reducciones significativas. (compactación, baja estabilidad de los agregados que indican limitaciones físicas del suelo, deficiencias hídricas).

Es importante destacar que en este trabajo, las deficiencias de P observadas no limitaron el % de N derivado de la FBN.

Un análisis global de los datos indica que cuando no se produjeron condiciones para la FBN, dentro de un rango de producción acumulada de forraje de 4.9 a 18.5 TnMs/ha/año, el % de N derivado de FBN se mantuvo relativamente constante alrededor del 60.8 % con un error estándar de 2.2 %. Por su parte en aquellos ambientes en los que se produjeron condiciones limitantes para el cultivo, el % de N derivado de la FBN también fue relativamente constante pero significativamente menor, con un promedio de 42.7 % y un error estándar de 2 %.

- 2) La cantidad de N aportado por la FBN en Kg de N/ha/año, exceptuando cuando se vio afectado el sistema nodular por diversos factores, fue de 235 Kg N/ha/año como promedio general del ensayo y solo considerando la presencia de N en el forraje de la parte aérea. Es decir, si computamos el N derivado de la FBN que se destina a las partes subterráneas de la plantas (raíces y nódulos) y a la solución del suelo, la cantidad de N aportado por la FBN debe ser significativamente mayor. El valor medido por la técnica de Rennie (1978) debería incrementarse en aprox. un 50 % - 325 – 350 Kg N/ha/año -

La FBN, expresada de esta manera, se relacionó estrechamente con la producción de forraje. La pendiente de la regresión fijaron 2.3 kg de N por cada 100 kg de Ms (R²: 0.83%)

Esta estrecha relación indica que los factores ambientales que limitan la producción, limitarán también la FBN. Del análisis de este ensayo se desprende que el grado de satisfacción de las necesidades de agua y la concentración de P fueron las que más incidieron en la producción del forraje y por ende en la FBN.

Se especula que la masa nodular en profundidad sería bastante independiente de las condiciones ambientales y serían fundamentales para otorgar estabilidad al sistema de FBN, satisfaciendo gran parte de los requerimientos nitrogenados del cultivo. La formación nodular de novo en las cepas superficiales del suelo (0 – 40 cm) sería mas dependiente de las condiciones meteorológicas (humedad y temperatura) y actuaría como compensadora de los mayores requerimientos nitrogenados del cultivo cuando se dan condiciones ambientales favorables para su crecimiento.

6. CONSIDERACIONES FINALES

- Los rizobios incorporados con el inoculante, fueron capaces de formar nódulos funcionales y eficientes en todos los sitios experimentales, durante las cuatro campañas del ensayo, tanto en superficie como en profundidad.
- Se observó la presencia de nódulos activos, provenientes de cepas introducidas y naturalizadas, hasta la máxima profundidad muestreada de 1.10 m.
- Los nódulos formados por cepas provenientes del inoculante fueron en promedio de un 50 % durante las dos primeras campañas, reduciéndose al 27 % en las dos últimas.

- Para un amplio rango de producción anual de forraje, la FBN represento el 61 % del total del nitrógeno incorporado por el cultivo, sin diferencia entre variedades.
- Cuando no se presentan limitantes muy marcadas para la fijación (sequías, compactación del suelo, etc) por cada 1.000 Kg de Ms producida, se incorporan 23 Kg de N provenientes de la atmósfera a través de la FBN.
- La cantidad promedio de N derivado de la FBN, medida en relación a la biomasa aérea, fue de 235 Kg de N/ha/año con máximos de 426 y mínimos de 113.
- La cantidad promedio de N derivado de la FBN, medida en relación a la biomasa total del cultivo, fue de 350 Kg de N/ha/año con máximos de 639 y mínimos de 169.
- Las deficiencias de P no afectaron el % de N derivado de la FBN, pero si redujeron la producción de forraje y en consecuencia, la cantidad total de N fijado.
- En líneas generales se puede concluir que el sistema de FBN en alfalfa y en la región pampeana funciona adecuadamente, aportando un % muy significativo del total de N requerido por el cultivo a lo largo de su ciclo, favoreciendo la sustentabilidad del sistema.