

Artículo publicado en páginas 45 a 48 de:

Revista de Tecnología Agropecuaria

Divulgación Técnica del INTA Pergamino

Vol. V N °14 (Segundo cuatrimestre: mayo / agosto 2000)





SOJA: NUTRICION NITROGENADA

(1) Luis A. Ventimiglia

(2) Héctor G. Carta

(3) Sergio N. Rillo

Sobre un suelo franco arenoso (Hapludol éntico) el cual nunca fue cultivado con soja, se evaluó durante la campaña 99/00 la incidencia de doce inoculantes comerciales mediante la infectividad, efectividad, y el rendimiento en grano. A su vez se determinó la mineralización de nitrógeno que el suelo aportó durante el ciclo de la soja, como así también, el balance nitrogenado que quedó después de cultivar soja. La infectividad fue variable para los tratamientos evaluados, destacándose Biagro 10 y Nitragin Celltech. En número de nódulos totales por planta sobresalieron los tratamientos Biagro 10 y Nitrap. Se estableció una relación directa entre rendimiento en grano y fijación biológica, aquellos tratamientos que presentaron pobres nodulaciones también presentaron menores rendimientos. La media de los seis mejores tratamientos aportaron a través de la fijación biológica 70 kg/ha de nitrógeno, representando esto el 38% del nitrógeno que el cultivo exportó con los granos. La mineralización de nitrógeno fue de 119 kg/ha. El balance general indicó que la soja es expoliadora en cuanto a nitrógeno, dado que el mismo arrojó un saldo negativo de 113 kg/ha.

La soja, lejos de ser una especie recuperadora de fertilidad nitrogenada, es una especie expoliadora, en cuanto a este nutriente.



De las especies del reino vegetal, la familia de las leguminosas se destacan por constituir una excelente fuente productora de proteínas. La formación de estas proteínas requiere de una alta disponibilidad de nitrógeno, ya que este elemento es la base primordial de su constitución. La soja se encuentra dentro de esta familia, pudiendo acumular en sus granos hasta algo más de 40% de proteína. Ello implica que con estos valores y con un rendimiento en grano adecuado, el cultivo debe obtener grandes cantidades de nitrógeno. Por ejemplo, una soja que rinde 3.000 kg/ha estará consumiendo para llegar a ese rendimiento, algo más de 220 kg/ha de nitrógeno, Ventimiglia et al, 1999. En su carácter de leguminosa, la soja puede cubrir sus requerimientos de nitrógeno a partir del aporte del suelo, (por la minerali-

zación del nitrógeno orgánico), la fertilización y el aire, (por medio de la fijación biológica del nitrógeno) (FBN), Gonzalez et al, 1997.

La FBN es una asociación entre las plantas de soja y bacterias del género *Bradyrhizobium*. De esta unión se forma a nivel radicular un órgano llamado nódulo, dentro del cual se transforma el nitrógeno atmosférico en amonio, que es una de las formas en que las plantas asimilan a este nutriente.

La correcta inoculación de la semilla de soja previo a la siembra es el primer paso que se debe dar para favorecer la asociación planta - rizobio.

En la actualidad existen en el mercado un gran número de productos para tal fin, los cuales difieren entre sí en varios as-

(1) Ing. Agr. M. Sc. Extensionista, UEEA 9 de Julio; a9julio@pergamino.inta.gov.ar

(2) Ing. Agr. M. Sc. Extensionista de la UEEA 9 de Julio; a9julio@pergamino.inta.gov.ar

(3) Ing. Agr. Extensionista UEEA 9 de Julio; a9julio@pergamino.inta.gov.ar

pectos (formulación, concentración bacteriana, constitución, etc), variando también en su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. La Unidad INTA 9 de Julio en la campaña 99/00 realizó una experiencia sobre un lote virgen de soja a fin de evaluar:

1) La infectividad y efectividad de los inoculantes comerciales disponibles en el mercado local.

2) Cuantificar la tasa de mineralización de nitrógeno que el suelo efectúa durante el cultivo de soja.

3) Cuantificar la fijación de nitrógeno y el balance de este elemento en el sistema, luego de cosechada la soja.

El ensayo fue conducido en la Escuela Inchausti (Valdes, Bs.As.), sobre un suelo Hapludol éntico el cual provenía de una pastura degradada, habiéndose roto a fin del verano del año 1998 con ray grass para pastoreo, en las dos últimas campañas. El análisis de suelo previo a la siembra presentó los siguientes resultados:

<i>Análisis de Suelo previo a la siembra</i>	
Materia Orgánica	2,7 %
Fósforo asimilable	15,1 ppm
Nitrógeno total	0,145 %
Nitratos	74 ppm
Relación Carbono/Nitrógeno	10,8

Fuente: Laboratorio INTA Pergamino

La preparación del suelo fue realizada con mínima labranza, utilizándose la variedad DM 4700 RR, sembrada el 19 de noviembre. La experiencia fue conducida utilizando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, siendo el tamaño de cada unidad experimental de cinco surcos por diez metros de largo.

Los productos empleados en el ensayo fueron retirados del comercio local, Cuadro 1. Posterior a la siembra, el remanente de inoculante fue remitido al laboratorio de Microbiología del INTA Castelar, quien determinó la concentración bacteriana de los mismos, Cuadro 1. A su vez el mismo laboratorio, constató en una muestra de suelo enviada oportunamente, la ausencia de rizobios naturalizados en el mismo.

Del Cuadro 1 podemos apreciar que un producto no registró en el marbete la concentración bacteriana, en tanto que el análisis de laboratorio determinó para alguno de ellos, menor concentración que la indicada en el rótulo, en tanto que otros, presentaron mayor cantidad de bacterias que las mínimas requeridas.

El recuento en el tratamiento preinoculado no fue realizado por disponerse solamente de la semilla ya inoculada. Dicha semilla fue provista por Semillas Moreno de la localidad de América (Bs.As.).

La siembra fue realizada utilizándose una sembradora Planet junior de un surco. La semilla fue inoculada con doble dosis antes de la siembra, a excepción del tratamiento preinoculado, que estaba inoculado con dosis simple. Posterior a cada siembra la máquina era desinfectada y lavada a fin de no producir contaminaciones entre tratamientos.

En cada bloque se ubicó un tratamiento sin inocular el cual fue considerado como testigo.

La infectividad fue medida en dos oportunidades para cada tratamiento, a los 14 y 34 días de la emergencia, estado fenológico de la soja V₃, V₇ respectivamente, Fehr and Caviness, 1997.

Cuadro 1: Productos evaluados, Comercios proveedores, Concentración bacteriana en marbete y Concentración bacteriana en producto comercial

Inoculante Marca Comercial	Comercio Proveedor	Bacterias/cm ³ Indicadas en rótulo	Recuento bacteriano realizado en producto bacterias/cm ³
(*) FPC	Cooperativa de Dudignac	1 x 10 ⁹	1 x 10 ⁹
Double Noctin L	Fumigaciones Terrestres	1 x 10 ⁹	1 x 10 ⁹
Nitrasc Plus	Fumigaciones Terrestres	1 x 10 ⁹	1 x 10 ⁹
Nitragin Celltech	La Madrugada	4 x 10 ⁹	4 x 10 ⁹
Crinigan	Torres Hnos	1 x 10 ⁹	1 x 10 ⁹
Rizo - Líq	Forrajeras Americanas	1 x 10 ⁹	1 x 10 ⁹
Nitroene	Martin Iureta	1 x 10 ¹⁰	4 x 10 ¹⁰
Nitrasoil	Fumigaciones Terrestres	1 x 10 ⁹	2 x 10 ⁷
Nitrap	Jorge H. Noll	---	3 x 10 ⁹
Nitru	Ricardo Marosi	1 x 10 ⁹	1 x 10 ¹⁰
Biagro 10	Buen Sembrado	1 x 10 ⁹	1 x 10 ¹⁰
Biagro Preinoculado	Semillas Moreno	1 x 10 ⁹	---

(*) El producto FPC fue retirado del ensayo por estar contaminado.

La evaluación fue realizada para cada tratamiento y bloque sobre 10 plantas consecutivas en competencia perfecta, tomadas de los surcos laterales y determinando la presencia o ausencia de nódulos en cada una de ella, Cuadro 2.

Cuadro 2: Infectividad de los tratamientos

Tratamientos	Evaluación en V ₃ % de infectividad	Evaluación en V ₇ % de infectividad
Testigo	0 f	0 c
Double Noctin L	0 f	0 c
Nitrasc Plus	0 f	0 c
Nitragin Celltech	65 ab	90 a
Crinigan	5 ef	5 c
Rizo - Líq	30 cde	43 b
Nitroene	45 bc	80 a
Nitrasoil	5 ef	5 c
Nitrap	35 cd	73 a
Nitru	40 bc	83 a
Biagro 10	75 a	85 a
Biagro Preinoculado	45 bc	83 a
DMS 5%	27,6	19,7
CV %	35	30

En la primera evaluación se destacó el producto Biagro 10 y Nitragin Celltech, en tanto que en la evaluación realizada en V₇ fueron varios los tratamientos que presentaron buena infectividad. En general casi todos crecieron con respecto a la primera evaluación, lo que nos estaría demostrando que se produjo una infección retardada. Esto podría deberse a las condiciones hídricas, dado que en el mes de la siembra solamente llovieron 48 mm, (46% de lo que llueve habitualmente en noviembre) produciéndose recién en diciembre un incremento en las precipitaciones (83 mm), registro que de todos modos es inferior en 28% a la media histórica para ese mes (115 mm). Por otro lado,

hubo cuatro tratamientos descontando el testigo, que presentaron 5% o menos de infectividad.

Cuando el cultivo alcanzó el estado fenológico R₅ (inicio de llenado de granos) se procedió, utilizando la misma metodología anteriormente descrita, a cuantificar el número, ubicación, tamaño y color de nódulos, Cuadro 3.

Cuadro 3: Número de nódulos medidos en raíz principal, secundarias y total, en inicio de llenado de grano

Tratamientos	N° nódulos Raíz principal	N° nódulos Raíz secundaria	N° nódulos por planta
Testigo	0.0 d	0.0 f	0.0 e
Double Noctin L	0.1 d	0.7 f	0.8 e
Nitrasec Plus	0.6 d	0.8 f	1.4 e
Nitragin Celltech	10.6 bc	12.4 e	23.0 d
Crinigan	0.8 d	2.1 f	2.9 e
Rizo - Líq	7.7 c	11.0 e	18.7 d
Nitroene	12.1 ab	21.2 cd	33.3 b
Nitrasoil	0.3 d	1.1 f	1.4 e
Nitrap	9.2 bc	28.7 ab	37.9 ab
Nitruv	9.7 bc	14.8 de	24.5 cd
Biagro 10	14.7 a	30.3 a	45.0 a
Biagro Preinoculado	10.0 bc	22.3 bc	32.3 bc
DMS 5%	3.4	6.8	7.9
CV %	37.0	39.0	29.0

Todos los tratamientos presentaron mayor cantidad de nódulos en la raíz secundaria lo que también estaría indicando una infección demorada. Debemos recordar que la colonización de las raicillas por parte de la bacteria se realiza cuando las mismas van desarrollándose, una vez que esta se han formado la infección prácticamente no ocurre.

La raíz principal de la soja, cuando es colonizada por las bacterias aporta importantes cantidades de nitrógeno. De acuerdo con Corbin et al, 1977; una buena nodulación debería presentar más de 10 nódulos por planta en los primeros 10 cm de la raíz principal. Bajo este criterio solamente encontraríamos que cumplen este requisito cuatro tratamientos: Biagro 10, Nitroene, Nitragin Celltech y Biagro Preinoculado.

El número de nódulos en las raíces secundarias fue importante para varios tratamientos, siete de los mismos presentaron más de diez nódulos por planta. De todos modos esto no siempre es sinónimo de buena fijación nitrogenada. Siempre de acuerdo con Corbin et al, 1977, considerando el total de raíz, aquellas plantas que presentan más de 10 o más nódulos en raíz principal y también en raíz secundaria, representarían plantas que tendrían excelente potencial para fijar nitrógeno. Bajo esta condición encontramos a los mismos tratamientos antes descritos, dado que otros no podrían alcanzar esta categorización por presentar menos de 10 nódulos en la raíz principal. Siendo menos estrictos, podríamos incluir a otros tratamientos que estando cerca de tener 10 nódulos en la raíz principal, logran obtener en el conjunto total de nódulos por planta, más de 20. Si tomamos este criterio encontraríamos seis tratamientos que cumplirían esta condición.

Debemos destacar por otro lado, que aquellos tratamientos que presentaron baja a nula infectividad, se siguieron comportando de la misma manera a lo largo del ciclo del cultivo, encontrándose bajo este aspecto cuatro tratamientos.

El color de los nódulos en todos los casos fue rojo, donde sí

se establecieron algunas diferencias fue en el tamaño de los mismos. En general los tratamientos pobremente infectados presentaron nódulos chicos, en tanto que el resto de los tratamientos tuvieron una proporción equilibrada de nódulos medianos a chicos y algunos grandes.

El rendimiento fue evaluado cosechando a mano las plantas enteras de los dos surcos centrales, por 5 metros de largo (7 m²). El material obtenido fue trillado en una máquina estacionaria. El grano fue limpiado, pesado y el rendimiento fue calculado a humedad de recibo, Cuadro 4. Los desechos de cosecha (tallos, ramas, vainas, raíz, etc) de cada tratamiento fueron pesados, con ellos y con el rendimiento, se calculó el índice de cosecha real (ICR).

Cuadro 4: Rendimiento kg/ha e índice de Cosecha Real

Tratamientos	Rendimientos kg/ha	Índice Cosecha Real
Nitroene	3.163 a	36,9 a
Rizo Líq	3.031 a b	35,7 a b
Biagro 10	2.918 a b	31,8 b c d
Nitruv	2.883 a b	33,2 a b c d
Biagro preinoculado	2.827 a b c	32,4 b c d
Nitragin	2.746 b c d	32,6 a b c d
Nitrap	2.728 b c d	33,8 a b c
Nitrasoil	2.632 c d e	31,6 b c d
Crinigan	2.455 d e	32,9 a b c d
Testigo	2.374 e	30,5 c d
Nitrasec	2.359 e	30,4 c d
Double Noctin L	2.293 e	28,9 d
DMS 5%	339	4,3
CV %	8,7	9,3

A nivel de rendimiento se establecieron diferencias importantes entre los tratamientos. La media de los cinco mejores tratamientos, los cuales no difieren estadísticamente entre sí, aventajaron al testigo por 590 kg/ha, con un rango entre 789 kg/ha y 453 kg/ha.

En general podemos decir que hay una cierta relación entre la nodulación y el rendimiento, si bien encontramos tratamientos como el caso de Rizo Líq, que sin tener una cantidad importante de nódulos obtuvo uno de los mejores rendimientos, esto podría llegar a explicarse por la masa nodular, Cuadro 5.

Considerando el peso medio de los nódulos, el tratamiento con Rizo - Líq presentó diferencias notables con respecto al resto de los tratamientos, llegando a producir una masa nodular por hectárea importante. Lo que sí queda claro, es que ningún tratamiento con pobre nodulación alcanzó una rendimiento sobresaliente, marcando una vez más la importancia que tiene este práctica, aún en suelos como en los que se llevó adelante el ensayo, con una fertilidad actual buena, (74 ppm de nitratos en los primeros veinte centímetros de suelo).

El índice de cosecha real presenta datos algo confusos, si bien los dos primeros tratamientos alcanzaron los mejores índices, encontramos otros que obteniendo rendimientos similares al testigo, alcanzaron índices de cosecha bastante buenos.

El porcentaje de nitrógeno en nódulos no presentó grandes variaciones entre tratamientos, por otro lado, el contenido de este elemento en los mismos en R₅ fue pequeño, Cuadro 5, demostrando esto que el proceso de fijación le permite a la planta

Cuadro 5: Número de nódulos por planta, peso medio de nódulo, masa nodular, % de nitrógeno en nódulos y kg/ha de nitrógeno en nódulos en R_s

Tratamientos	N° nódulos por planta	Peso medio Nódulo seco (mg)	Masa nodular Seca (kg/ha)	% N en Nódulos	kg/ha de N en Nódulos en R _s
Nitroene	33,3	12,8	133,8	5,2	6,9
Rizo - Líq	18,7	37,7	221,3	6,2	13,7
Biagro 10	45,0	16,4	231,7	5,2	12,0
Nitrur	24,5	17,2	132,3	6,0	7,9
Biagro Preinoculado	32,3	18,5	187,6	5,4	10,1
Nitragin Celltech	23,0	15,2	109,7	5,5	6,0
Nitrap	37,9	14,6	173,7	5,4	9,4
Nitrasoil	1,4	10,5	4,6	6,0	0,3
Crinigan	2,9	10,8	9,8	6,0	0,6
Testigo	0	0	0	0	0,0
Nitrasec Plus	1,2	11,0	4,1	5,7	0,2
Double Noctin L	0,8	10,3	2,6	5,4	0,1

captar importantes cantidades de nitrógeno, pero que el nódulo como tal, tiene poca capacidad de almacenamiento.

En los granos cosechados como en los residuos de cosecha fue determinado el contenido de nitrógeno, lo que permitió calcular para cada tratamiento el consumo de este elemento. Tomando como base al tratamiento testigo, en función del consumo de nitrógeno que realizó, y considerando la disponibilidad inicial de este elemento en el suelo (37 kg/ha), se calculó la tasa de mineralización de nitrógeno (119 kg/ha), que aportó el suelo al sistema

Con estos datos se calculó la tasa de fijación biológica que cada tratamiento realizó, Cuadro 6

Considerando los 6 mejores tratamientos en cuanto a fijación biológica los mismos aportaron el 38% del nitrógeno que el cultivo exportó con los granos, lo que indicaría en este caso, que la soja tuvo que tomar del suelo 113 kg/ha de nitrógeno, si se considera el total de biomasa producido, esa cantidad asciende a 156 kg/ha.

De la biomasa, parte retorna al suelo, pero queda claro que el nitrógeno presente en los granos saldrá del sistema. Considerando en este caso la media de los seis mejores tratamientos en cuanto a fijación biológica, queda un saldo negativo de 113 kg/ha de nitrógeno.

Como se puede apreciar en el Cuadro 6 si bien la fijación biológica no es despreciable para algunos tratamientos, está lejos de la obtenida en la zona (160 kg/ha) por Ventimiglia et al (1999). En este sentido el tema agua ha sido crucial, tanto para la infectividad inicial como para la supervivencia y fijación posterior. El volumen de agua registrado durante todo el ciclo del cultivo

Agradecimientos

Los autores agradecen a Directivos y personal de la Escuela ML y Mc Inchausti, Cooperativa Agrícola Ganadera de Dudignac Ltda., por la colaboración recibida para la realización de la presente campaña. Un agradecimiento especial al Ing. Agr. Alejandro Perticari del Dpto de Microbiología del INTA Castelar por todos los análisis bacteriológicos, realizados tanto de los productos testeados como de la flora microbiana del suelo.

Cuadro 6: Nitrógeno en grano, paja y total (kg/ha) y Fijación simbiótica de Nitrógeno (kg/ha)

Tratamientos	Kg/ha N en grano	Kg/ha N en paja	Kg/ha N total	Kg/ha N fijado
Nitroene	198	39	237	81
Rizo - Líq	191	36	227	71
Biagro 10	183	45	228	72
Nitrur	180	42	222	66
Biagro Preinoculado	177	43	220	64
Nitrap	166	55	221	65
Nitragin	153	38	191	35
Nitrasoil	141	37	178	22
Crinigan	137	33	170	14
Testigo	120	36	156	0
Nitrasec	124	39	163	7
D. Noctin L	121	40	161	5

apenas superó los 300 mm y de acuerdo con los trabajos realizados por Racca et al (1998), con esa cantidad de agua, la fijación biológica se ve severamente comprometida.

Conclusiones

Hay gran disparidad en cuanto a la infectividad y efectividad de los productos comerciales. Mientras alguno pudo aportar el 41% del Nitrógeno que el cultivo exportó como grano, otro solo contribuyó con el 4%.

El nitrógeno proveniente de la mineralización que el suelo aportó al sistema durante el ciclo de la soja, fue cuantificado en 119 kg/ha

La soja, lejos de ser una especie recuperadora de fertilidad nitrogenada, es una especie expoliadora, en cuanto a este nutriente.

Bibliografía

- CORBIN, E; BRACKWELL, J and GAULT, R 1977. Nodulation studies on chickpea (*Cicer arietinum*). Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 17:126-134.
- FEHR, W and CAVINESS, C. 1997. Stages of soybean development. Iowa St Universidad Special Report 80.
- GONZALEZ, N; PERTICARI, A; STEGMAN DE GURFINKEL B; y RODRIGUEZ CACERES, E. 1997. Nutrición nitrogenada. In: Giorda L. M, y BAIGORRI, H. E. El cultivo de la soja en Argentina. INTA Manfredi, Estación Experimental Agropecuaria, Córdoba, n° 4, pp 187 - 198.
- RACCA, R; BASIGALUP, D; BREZZONI, E; COLLINO, D; DARDONELLI, J; GONZALEZ, N; HANSEN, N; LOPEZ, E; PERTICARI, A; QUADRELLI, A; y RIVERO, E., 1998. Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en alfalfa y caracterización de factores ambientales que la regulan. In: Reunión Latinoamericana de Rizobiología 19°. Maturín, Venezuela. Set. 1998, pp. 119 - 121.
- VENTIMIGLIA, L; CARTA, H; y RILLO, S. 1999. Fertilización foliar nitrogenada complementaria. Agromercado. Cuadernillo Soja n° 40; pp 78 - 80.
- VENTIMIGLIA, L; CARTA, H; y RILLO, S. 1999. Soja: ¿Recuperadora o degradadora de fertilidad nitrogenada?. In: Cosecha Gruesa, Campaña 1998/99 resultados de experiencias. 9 de Julio. UEEA INTA, pp 56 - 61.