

**EVALUACIÓN DE LA
RESPUESTA AL USO DE
GRAMINOSOIL – L**
(Azospirillum brasilense),
**perteneciente a
LAGE y Cía. S.A.
EN MAÍZ.**

Autores

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli
Ing. Agr. Esteban Hoffman
Bach. J. J Hernandez
Bach. C. Binnewies



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA AL USO DE GRAMINOSOIL – L (*Azospirillum brasilense*), perteneciente a LAGE y Cía. S.A., EN MAÍZ.

Mazzilli, S¹; Hoffman, E; Hernandez, J; Binnewies, C.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Es abundante y ya poco discutida la información en cuanto a los beneficios de corregir la deficiencia de N en maíz, sin embargo la forma de hacerlo varía y sobre el tema aún se sigue discutiendo. Para aquellos que promueven el manejo en base a indicadores objetivos de disponibilidad o status nutricional, aspectos como niveles críticos por estadio, equivalente fertilizantes, dosis máxima e interacción con potencial, son el objeto de estudio y perfeccionamiento, mientras que para los promotores de la fertilización en base a balances, los blancos son el aporte potencial por mineralización del suelo, el Coeficiente b (Steinbach *et al*, 2005), la estimación del potencial y también la interacción con los factores climáticos como determinantes del potencial de rendimiento. Independientemente de los resultados esperables u obtenidos en ambos casos, el maíz, al igual que el trigo, sigue concentrando gran parte de los trabajos de investigación.

En este sentido es abundante la información referida a nuevos productos diferenciados que intentan mejorar la eficiencia del uso del N en base a disminuir las pérdidas de N derivadas de las fuentes tradicionales y/o incrementar la respuesta vegetal en base a la mayor velocidad de corrección de la deficiencia. En este lugar se han posicionados las nuevas opciones en base a fertilizantes nitrogenados líquidos como el UAN, para el cual Argentina ha tomado la delantera mientras que en Uruguay se observa un lento pero firme proceso de adopción.

También es abundante la presencia en el mercado y elevada la presión comercial de productos que prometen respuestas ampliadas en base a moléculas maravillosas para las cuales no se está generando información nacional. Sin embargo, luego de extensos procesos de investigación y desarrollo y cada tanto, lentamente, irrumpen en el mercado opciones que permiten aportar a la mejora tecnológica en forma segura y aditiva, en base a una amplia base científica.

En este escalón podemos posicionar a los inoculante en base a bacterias del género *Azospirillum*, considerando la capacidad para asociarse con plantas de interés agrícola, así como para fijar N en medios de cultivo (Caballero-Mellado, 2002).

La utilización de fertilizantes biológicos aplicados como tratamientos de semilla es una práctica que está siendo cada vez más estudiada por investigadores y puesta en práctica por los productores. Diversos trabajos han reportado resultados promisorios cuando la fertilización química fue complementada por la adición de microorganismos que producen una mejora del estado fisiológico del cultivo y facilitan la adquisición de nutrientes. El caso más conspicuo es la interacción entre leguminosas y las bacterias del género *Rhizobium* que posibilita la fijación biológica de nitrógeno (N) (Racca, 2003), la

¹ Integrantes Equipo Técnico de Unicampo Uruguay

cual tiene larga data (Gibson and Nutman, 1960, Pate, 1973) y se acerca el momento en que pueda realizarse en una realidad a nivel de producción.

Las bacterias del género *Azospirillum* son organismos fijadores de N de vida libre, que habitan la rizósfera del suelo. Okon y Labandera-González (1994) mencionan una estimulación en el crecimiento de raíces, que aumentarían su longitud, densidad y velocidad de crecimiento. También promueve la producción de auxinas, lo cual incrementaría la tasa de crecimiento aérea y radicular. Esto se vería reflejado en una mayor absorción de agua y nutrientes.

Los efectos sobre las plantas, como resultado de la inoculación con *Azospirillum* se producen en los estadios iniciales de crecimiento, las primeras semanas después de la colonización radicular (Fallik *et al.*, 1994). De una amplia revisión realizada por Okon y Labandera-González (1994) se puede mencionar un 60 a 70 % de experiencias con resultados favorables en cuanto al éxito de la inoculación e incrementos de rendimientos que oscilan en un 5 a un 30 % (Bashan, 1999).

La información en la actualidad ya es muy abundante y de larga data, pero cada vez es mayor el volumen de trabajos de corte tecnológico en donde se estudia la respuesta vegetal en cultivos de interés comercial, analizando las interacciones con otras variables de manejo. Este es el caso de un sin número de experimentos que analizan la interacción en maíz y trigo entre la inoculación con *Azospirillum* y la respuesta al agregado de N. Si bien existen muchos reportes cuya ventajas resultan de la posibilidad del ahorro de fertilizantes (40 a 50%) (Caballero-Mellado, 2002), es también muy abundante y consistente aquella en la cual se observan efectos aditivos (en forma independiente del agregado de nutrientes).

En muchos casos, la magnitud de la respuesta a bajas dosis de N no es la esperada y la tendencia en muchos reportes es la contraria, evidenciando una amplificación de la respuesta bajo condiciones de incremento de potencial (Díaz Zorita *et al.* 2006). Es por ello que muchas veces no se logran cambios en las concentraciones de nutrientes en tejidos y granos. Más allá de los beneficios asociados a la mejora en el status nutricional (en este caso N), se evidencia un mayor grado de consenso en cuanto a que el único mecanismo asociado a la mejora, no es la fijación biológica de N.

Este trabajo no intenta revisar ni profundizar en las bases biológicas y/o fisiológicas de la asociación entre *Azospirillum* y la planta; sin embargo, se espera poder ahondar en las relaciones fisiológicas asociadas con la respuesta vegetal a la inoculación con *Azospirillum*.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Evaluar la respuesta de *Azospirillum* en términos de:

- Producción de biomasa radicular y aérea.
- Eficiencia de utilización de nitrógeno aplicado y/o nitrógeno adicional.
- Rendimiento en el cultivo de maíz y bases de respuesta.

MATERIALES Y MÉTODOS

1- Instalación de ensayos

El ensayo fue instalado en una chacra comercial de maíz perteneciente a la firma Parietti-Noriega Hnos, asesorada por Unicampo Uruguay SRL. Esta chacra es de muy corta historia agrícola y se encuentra inserta en una rotación agrícola-ganadera. Cada cultivo que integra la rotación tiene ajustado la totalidad de parámetros nutricionales y sanitarios.

A continuación se presentan un resumen de las características de la chacra:

Cuadro 1. Características del sitio experimental y manejo del cultivo.

Formación	Fray Bentos
Textura	Arc-Lim
Sist. Laboreo	Siembra Directa
Antecesor	Verdeo/Sorgo/B.quim Inv
Variedad	M 10 (IMI)
Fecha Siembra	16-sep
Herbicida PRE (l/ha)	2 Atrazina + 2 Acetoclor
P inicial (ppm)	9
N-NO3 inicial (ppm)	6
Fert Base (kg/ha)	60 Kg Urea + 60 Kg 18-46-0

2- Diseño experimental

El diseño utilizado es el de parcelas divididas con parcelas menores distribuidas al azar con tres repeticiones. Se sembraron dos parcelones (con y sin Graminsoil-L) y dentro de cada uno de esto se instalaron los diferentes tratamientos y repeticiones (3).

El diseño fue seleccionado considerando que se sembraba con maquinaria de productor y esto determina que no existan posibilidades de generar otro diseño.

3- Tratamientos

- Las parcelas mayores fueron sembradas con la fertilización nitrogenada y fosfatada de acuerdo a la recomendación de la chacra.
- La parcela con *Azospirillum* fue inoculada a razón de 0,5 lts.ha⁻¹ de Graminsoil-L.
- Los tratamientos de nitrógeno fueron instalados en V5-V6.
- Se probaron diferentes niveles de fertilización de nitrógeno en el estadio de V5-V6 (0, 30 y 60 unidades de nitrógeno). Los tratamientos surgen de la combinación de una parcela inoculada con *Azospirillum*, una sin inocular y tres dosis de nitrógeno.
- Fueron controladas plagas y malezas de igual forma que la chacra.

4- Determinaciones

Siembra

- N-NO₃ en suelo (0-20 cm)
- P en suelo Bray N° 1 (0-20 cm).

Estadio de V5 – V6

- N-NO₃ en suelo (0-20 cm)
- Acumulación de materia seca en parte aérea.
- Acumulación de materia seca de raíces.
- % N en parte aérea
- N° de plantas.ha⁻¹

Floración

- Acumulación de materia seca en parte aérea.
- % N en parte aérea

Cosecha

- Acumulación de materia seca en parte aérea.
- % N en parte aérea (paja y grano)
- Rendimiento en grano y componentes del rendimiento.

5- Condiciones climáticas del año.

En la siguiente gráfica se presenta la información de temperatura y precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo.

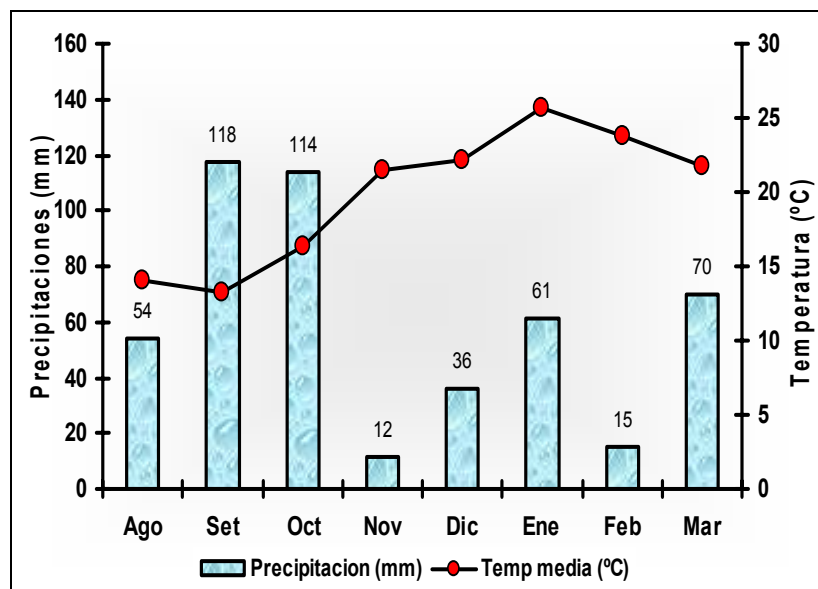


Figura 1.- Régimen de temperatura y precipitaciones registradas para la primavera – verano del 2005-06.

Claramente podemos apreciar un régimen hídrico sin limitantes en la primera mitad de la primavera y lluvias muy por debajo de lo normal en verano. El total de precipitaciones durante el ciclo de cultivo (300 mm), escasamente permite cubrir un 60

% del total de requerimientos del un maíz de elevado potencial (500 mm) y por tanto el resto debería provenir del agua almacenada en el suelo. Este tipo de suelos no supera los 100 mm de capacidad de almacenaje.

Considerando que el cultivo fue sembrado a mediados de setiembre, en un suelo que a priori debería estar cerca de capacidad de campo, y que además llueve en los 50 días posteriores, razonablemente se podría pensar que el crecimiento inicial estuvo regulado por la temperatura y no por el agua. Si tenemos en cuenta que la temperatura media de setiembre y octubre fue muy baja (13.4 y 16.1 °C para setiembre y octubre, respectivamente), en relación a los valores históricos; como será discutido a continuación, el crecimiento hasta V6 se dio a bajas tasas y un consecuente largo período siembra – V6 (60 dps), retrasando la ocurrencia de la floración.

Es probable que parte del período de generación del potencial (V6-R5.0) ocurriese en base a las reservas de agua en un suelo que es probable que hasta fines de octubre estuviese lleno. Sin embargo, las bajas precipitaciones hacia el final de este período, sobre la floración (P. Crítico) y gran parte de llenado de grano, sería el principal determinante de un bajo índice de cosecha y por tanto un rendimiento en grano que como será discutido a continuación, estuvo por debajo de las posibilidades que ofrecía el cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa.

Tal como fue comentado en los antecedentes, una de las ventajas que tendría la inoculación con *Azospirillum* es el aumento en la biomasa de raíces y el aporte de N al cultivo. A continuación se presenta lo observado en el estadio de V6 a 60 días de la siembra.

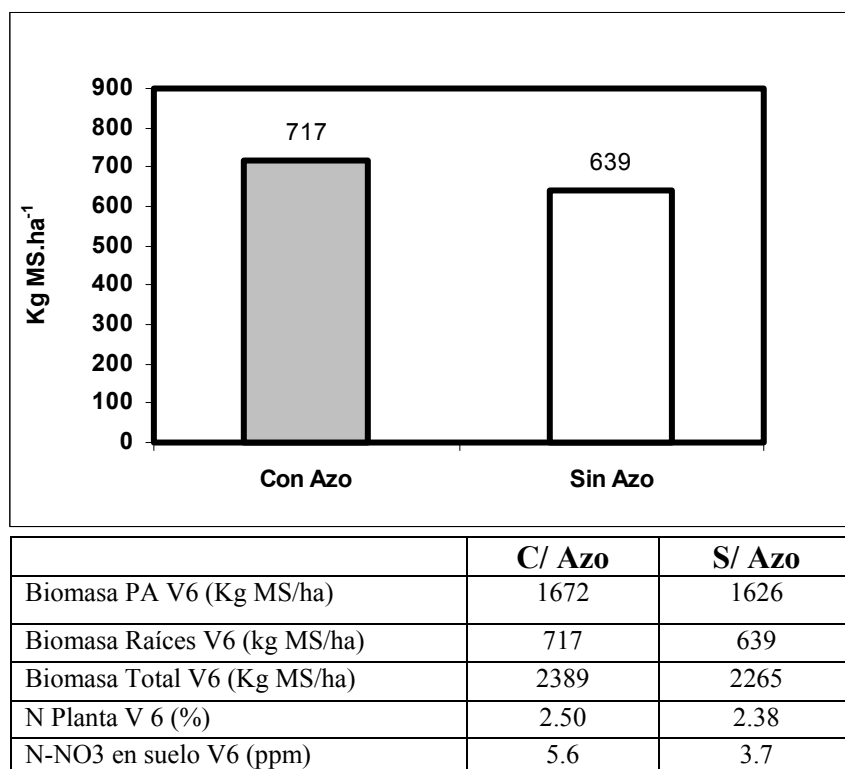


Figura 2. Materia seca (Kg.ha⁻¹) acumulada en raíces al estadio de V6.

Si bien la diferencia observada no es importante, marca una tendencia considerando las condiciones de suelo húmedo, probable baja temperatura de suelo y por tanto bajo crecimiento entre la inoculación y V6. Es posible que estas diferencias no se hayan hecho evidentes como consecuencia de las bajas tasas de crecimiento radicular observada de siembra a V6 (12 vs 10.7 Kg MS.ha⁻¹.día⁻¹). Dadas las condiciones de manejo de la chacra (siembra muy temprana para el norte) y las condiciones climáticas (baja temperaturas y altas precipitaciones), podrían explicar el bajo crecimiento (27 kg MS/ha/día). También, partiendo de un bajo contenido de N en suelo a pesar de las excelentes condiciones de preparación del barbecho y a pesar del agregado de 38 UN a siembra, el suelo llegó con importantes niveles de deficiencia a V6 y esto posiblemente haya limitado las posibilidades de expresión, aunque las diferencias a favor del agregado de *Azospirillum* se dan todas en el mismo sentido.

En la figura siguiente se presenta la evolución en la acumulación de materia seca promedio para todo el ciclo de cultivo, para los tratamientos con y sin *Azospirillum*.

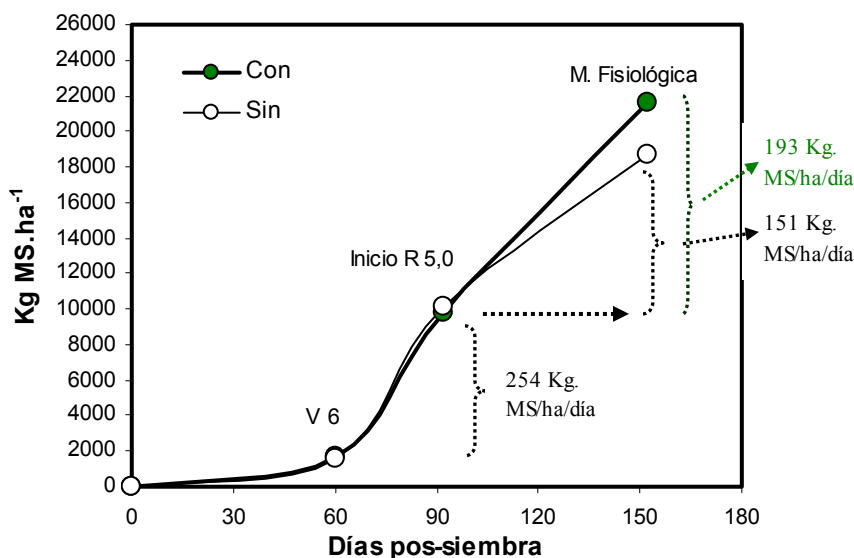


Figura 3. Evolución de la producción de materia seca, promedio para todas las dosis de N, para los tratamientos con y sin *Azospirillum*.

Se observa un aumento en la materia seca aérea acumulada para los tratamientos inoculados respecto a los sin inocular a partir de inicio de floración. A madurez fisiológica, el cultivo alcanzó niveles medios de MS muy elevados (20 ton/ha), con diferencias relevante entre tratamientos (21574 y 19039 kg MS/ha para con y sin *Azospirillum*, respectivamente).

Cuando descomponemos la respuesta según la inoculación con *Azospirillum* y agregado de nitrógeno a V6, puede observarse que existe un comportamiento diferencial según el estadio del cultivo. Para el estado de floración existe una tendencia de efecto de interacción, inoculación por nitrógeno agregado (cuadro 2).

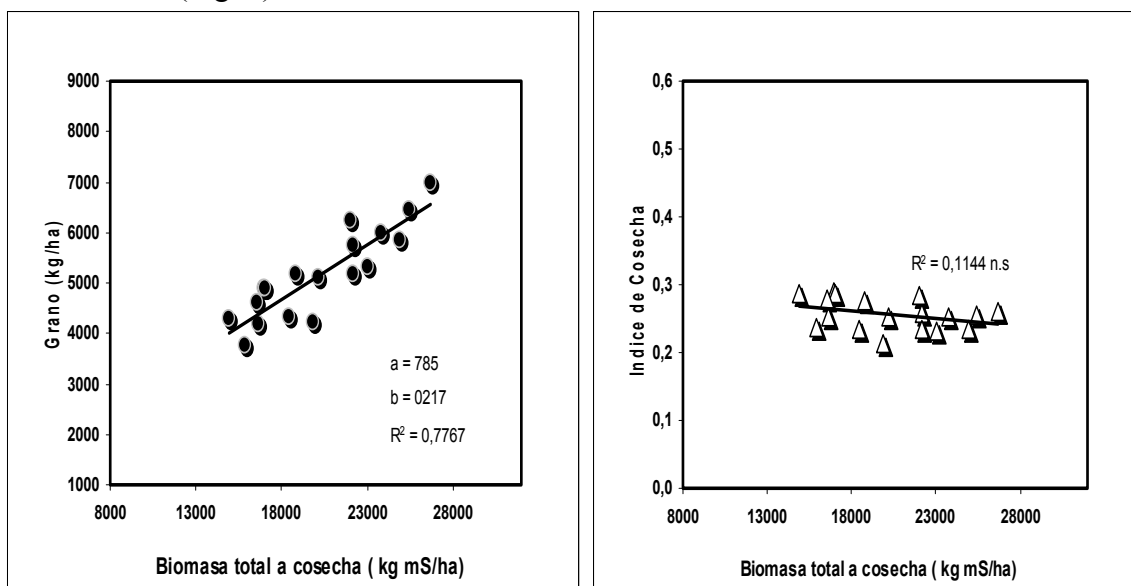
Cuadro 2: Materia seca (Kg.ha⁻¹) acumulada a inicio de floración (R5.0).

Tratamiento	UN agregada (Kg.ha ⁻¹)		
	0	30	60
	-----Kg MS.ha ⁻¹ -----		
Con Azospirillum	9833	10642	10029
Sin Azospirillum	9143	9411	10695
Media	9488	10026	10362
CV (%)	17,40		

Mientras que para el cultivo inoculado con *Azospirillum* no existió respuesta al agregado de N en V6, sin *Azospirillum* se observa una respuesta a 60 UN.

Rendimiento y componentes.

Como fue comentado anteriormente, por las condiciones de chacra, fecha de siembra y agua, el potencial de producción de biomasa fue muy elevado; sin embargo, la deficiencia hídrica durante el período crítico y parte del llenado de grano llevó a una baja tasa de concreción de rendimiento en grano y por tanto un reducido índice de cosecha final (Fig. 4).



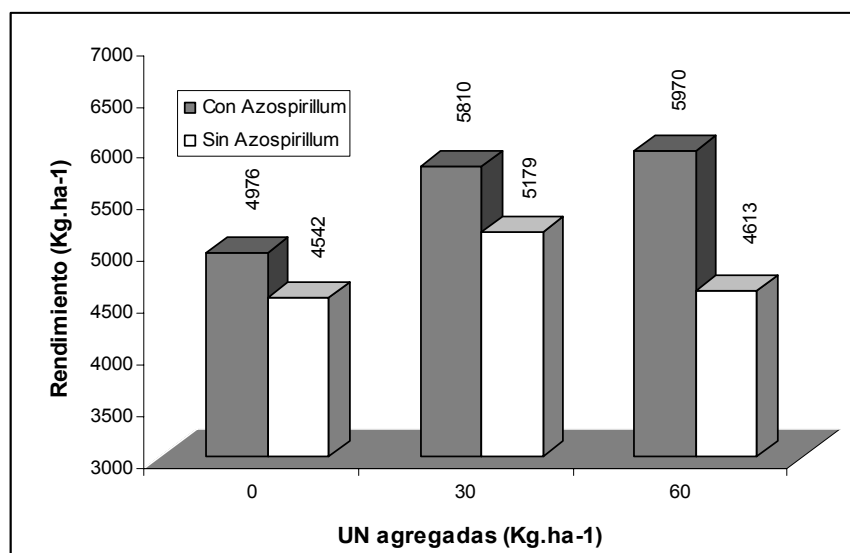
	C/Azo	S/Azo
Rendimiento (Kg grano/ha)	5585 a	4777 a
Paja cosecha (kg MS/ha)	15989 a	14260 a
Biomasa Total (kg MS/ha)	21574 a	19039 a
IC (%)	26 a	25 a

Figura 4.- Relación biomasa total a cosecha – rendimiento en grano y efecto *Azospirillum* sobre paja, grano y biomasa total a cosecha e índice de partición.

De la figura podemos concluir en general que la importante variación de rendimiento estuvo directamente asociada a la producción de biomasa total, sin cambios en el índice de cosecha. Si bien la diferencia no llegó a ser significativa dadas las limitantes del modelo utilizado, el rendimiento medio del cultivo inoculado con *Azospirillum*, en relación al sin *Azospirillum* fue 17% superior (5585 y 4777 Kg. grano /ha, para con y sin *Azospirillum*, respectivamente); y resulta de una mayor producción de biomasa total (2537 kg de MS/ha, más), para similar IC.

Como fue discutido anteriormente, gran parte de estas diferencias se generaron entre inicio de floración y madurez fisiológica y podrían por tanto ser la resultante de cantidades de aporte diferencial de N y agua residual en suelo a partir de R 5.0.

En la siguiente figura se analiza la respuesta en rendimiento agregado de N en V6, para el cultivo inoculado y no inoculado con *Azospirillum*.



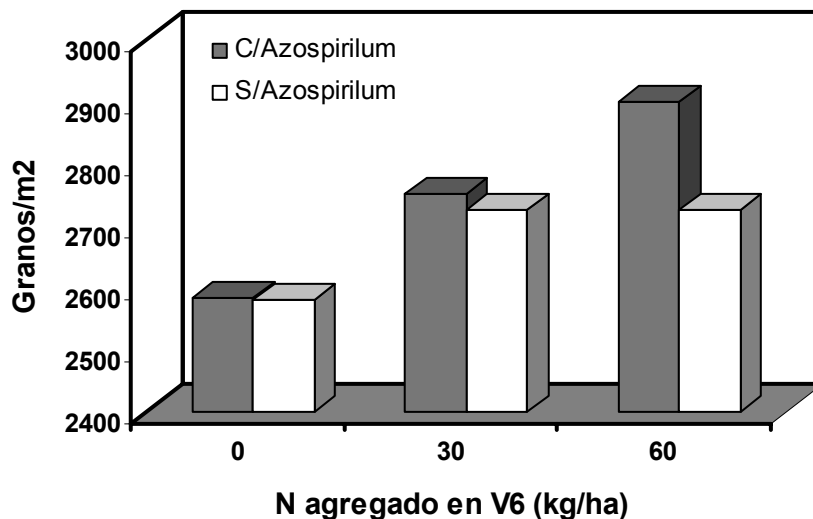
Tratamiento	UN agregada (Kg.ha ⁻¹)			Promedio
	0	30	60	
Con Azospirillum	19503	22655	22566	21574
Sin Azospirillum	18318	21453	17345	19039
Total	18911	22054	19955	20307

Figura 5.- Respuesta en rendimiento en grano y biomasa total a cosecha, al agregado de N en V6, para los tratamientos inoculado y no inoculado con azospirillum.

Si bien la interacción en grano no alcanzó a ser significativa (consecuencia del modelo que pudo ser usado, dadas las limitantes operativas de siembra y considerando que fue un experimento en condiciones de chacra), la inoculación con *Azospirillum* mantuvo siempre mayores niveles de biomasa y rendimiento en grano, particularmente cuando a dosis elevadas de N, se mantienen los niveles de producción, en relación a una fuerte caída observada en el cultivo sin inocular. En base a los bajos niveles de N en suelo en V6 y a la información disponible a nivel nacional (Borghy y Wornicov. 1998), se esperaba una elevada respuesta al N (12 ppm por debajo en promedio del nivel crítico). Sin embargo, también es abundante la información que evidencia que ésta puede estar fuertemente condicionada por el agua y más en el caso de este cultivo. Por tanto la respuesta a 60 UN aparecería condicionada más por el agua que por el nivel de N disponible a V6, incluyendo una fuerte respuesta negativa a dosis mayores en el cultivo sin inocular. A este nivel, las diferencias en la respuesta del cultivo al N y los efectos del *Azospirillum* parecen estar en parte directamente vinculadas al uso del agua en forma diferencial. Las 60 UN en el cultivo sin inocular bajo estas condiciones llevaron a que se concretara igual nivel de rendimiento en grano y biomasa total, que el

testigo sin fertilizar. En definitiva se desaprovecharon las 60 UN agregadas a pesar de que el cultivo se encontraba en deficiencia (Fig. 2).

En la figura siguiente se presenta el efecto de los tratamientos sobre los granos por unidad de superficie y sus componentes.



		UN agregada (Kg.ha ⁻¹)			Promedio	Cv (%)
Tratamiento		0	30	60		
C/Azospirillum	Plantas a cosecha/m2	6,5	6,4	7,3	6,7	14
	Espigas/m2	6,1	6,2	6,8	6,4	16
	Granos/espiga	423	444	428	432	13
	Granos/m2	2584	2751	2901	2745	13
	PG (mg)	193	213	207	204	11
S/Azospirillum	Plantas a cosecha/m2	7,0	7,9	7,1	7,3	13
	Espigas/m2	6,8	7,6	6,8	7,1	12
	Granos/espiga	380	358	402	380	9
	Granos/m2	2580	2726	2725	2677	9
	PG (mg)	176	188	169	178	10

Figura 6.- Componentes del rendimiento en función de los tratamientos evaluados. (Nota. Relación entre rendimiento y plantas $R^2 = 0.07$).

Claramente, podemos apreciar que a pesar de una población levemente inferior para el cultivo inoculado con *Azospirillum* (no significativa), el número de granos es igual y el rendimiento es superior. Esto ocurre sin diferencias en la fertilidad de plantas, y como consecuencia de espigas más grandes ($> N^{\text{ro}}$ de granos) y de mayor peso de grano (PG), para el cultivo inoculado. A elevadas dosis de N para el inoculado con *Azospirillum*, la diferencia en N^{ro} granos es más pronunciada, y por tanto a esta dosis el efecto es conjunto, más granos y de más peso. Considerando que la variación de rendimiento en grano estuvo explicada casi un 40% por el número de granos por unidad de superficie y un 60% por el PG, la respuesta vegetal a los tratamientos está muy condicionada por lo ocurrido desde floración en adelante.

En este sentido y considerando que el ambiente limitante desde el punto de vista hídrico durante el cuajado y llenado de grano es la condición que caracteriza al ambiente en este trabajo, si existieren grandes diferencias en el residuo hídrico en suelo

a inicio de la floración, debería poder ser evaluado en base al crecimiento posterior o tasas de concreción de componentes, en forma diferencial.

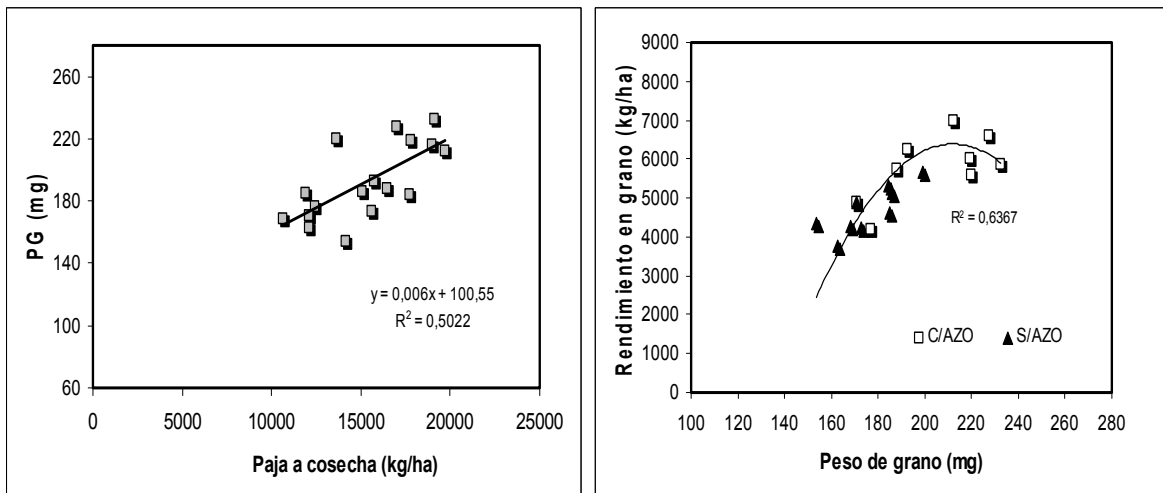


Figura 7.- Peso de grano en función de la biomasa de hojas y tallos producida a cosecha y su relación con el rendimiento concretado.

En base a la información de la figura 7, y considerando que las diferencias en crecimiento se establecieron de R 5.0 en delante (Fig.3), podemos decir que el peso de grano sería el resultado del mantenimiento del crecimiento durante al menos parte del llenado de grano. Las ventajas de la inoculación no parecen estar exclusivamente por el lado del N, sino en los efectos adicionales (entre los cuales puede estar asociados a una mayor eficiencia en el uso del agua), que llevarían a que exista una ventaja para todas las situaciones de N, pero que sobre todo se hace muy evidente a niveles elevados de N. Cuando la respuesta parece estar fuertemente limitada por el agua, la inoculación permitió el crecimiento durante parte del llenado de grano, evitando la caída en el número de granos.m⁻², sosteniendo mayores tasas de concreción de PG, y posibilitando mayores niveles de compensación (Fig. 8).

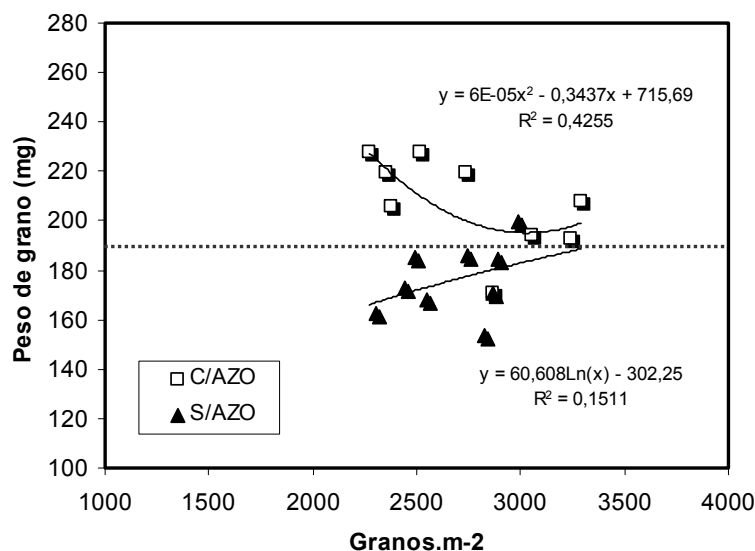


Figura 8.- Relación de competencia granos a llenar y peso de grano final, con y sin inoculación con *Azospirillum*.

Claramente se puede ver en primer lugar que el PG de los tratamientos inoculados superan siempre los 200 mg, mientras que lo opuesto ocurre en ausencia de *Azospirillum*. Con *Azospirillum* la relación entre granos/m² y PG, es típica, cae en la medida que es mayor el compromiso de llenado, existiendo compensación importante cuando son menos los granos a llenar. Sin *Azospirillum*, sin considerar el N^{to} de granos, la baja tasa de crecimiento durante el llenado llevaría a un bajo PG, pero sobre todo parece estar limitada la compensación cuando fueron pocos los granos a llenar. Por tanto, en muchas repeticiones sin *Azospirillum*, a pesar de ser menor el N^{to} de granos, el rendimiento concretado es aún menor dado el bajo PG observado.

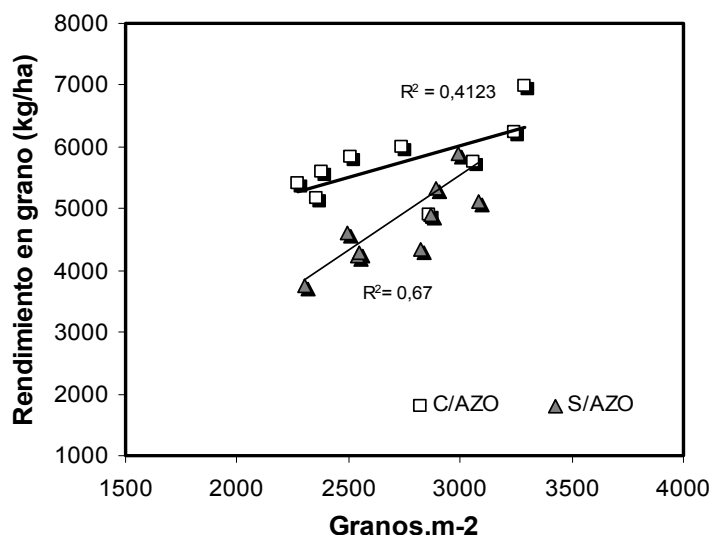


Figura 9.- Relación entre granos por unidad de superficie y rendimiento en grano, en función de la inoculación con *Azospirillum*.

La consistencia de la información es importante, a pesar de las condiciones de estrés hídrico registradas durante gran parte del llenado de grano. Sin embargo y considerando la respuesta vegetal observada (Fig 9), la inoculación con *Azospirillum* no sólo puede considerarse como una opción de mejora del potencial, sino como un factor de estabilidad. Esta respuesta estaría por tanto asociada con una mejor condición de cultivo durante las etapas de fertilización, cuajado y parte del llenado efectivo de grano, bajo situaciones de mayor estrés.

Sin embargo, aún no está claro por qué el cultivo inoculado con *Azospirillum* mantuvo un patrón de respuesta consistente, pero que para un ambiente deficiente en N desde temprano, las diferencias se establecen tarde en el ciclo del cultivo, cuando en realidad debería ser razonable observar lo contrario. En base a las condiciones de frío al inicio de la estación de crecimiento y a la falta posterior de agua, pueden estar sentadas las bases de estas diferencias. Si el agua durante la floración y etapas posteriores es limitante y considerando las diferencias en crecimiento observadas en este período, se debería analizar la relación entre el crecimiento antes y después de R 5.0, dado los antecedentes de relación negativa cuando el cultivo está sometido a deficiencias hídricas.

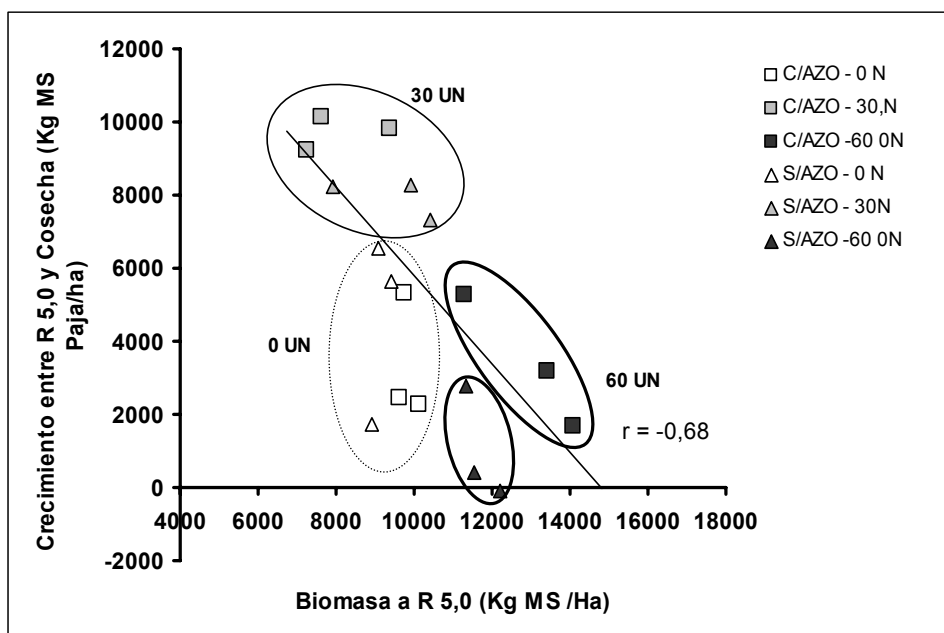


Figura 10. Relación biomasa producida hasta R 5.0 y la producción de paja posterior (sin grano), para todos los tratamientos evaluados.

Claramente podemos observar una relación general negativa entre crecimiento hasta inicio de floración y crecimiento posterior ($r = -0.68$), en forma independiente del agregado de N en V6. Esto reafirma lo discutido anteriormente en cuanto a que el agua durante el llenado de grano es una condición del ambiente en el cual se desarrolló el experimento.

Si analizamos el efecto del agregado de N en presencia o ausencia de *Azospirillum*, en base a la figura 10, se podría afirmar lo siguiente:

- Las dosis mayores de N generaron mayores tasas de crecimiento a R 5.0 y menor crecimiento posterior, pero se evidencia una ventaja a favor de los tratamientos con *Azospirillum*.
- Las 30 UN en V6, finalmente en promedio permitieron un rendimiento superior dado que si bien mostraron menos biomasa a R 5.0, la tasa de concreción posterior fue mayor. Este puede ser el residuo de mayor agua disponible. Acá también el cultivo inoculado con *Azospirillum* muestra una ventaja.
- Cuando no se corrigió la deficiencia en V6, a pesar de un similar nivel de crecimiento en R 5.0 que para el agregado de 30 UN, la tasa de crecimiento posterior fue sensiblemente más baja, sin efectos de la inoculación. La limitación al crecimiento durante el llenado en este caso, parece ser el N y no el agua y en este ambiente no se observan ventajas claras de la inoculación con *Azospirillum*.
- Para cualquier dosis de N, siempre existe una ventaja de la inoculación y este podría ser tomado como el efecto del N asociado a mantener mejores tasas de crecimiento posterior. Sin embargo, frente a la ausencia de agregado de N en V6, no son claras las diferencias y la magnitud en el rendimiento es menor. Por tanto, hay otro efecto que no parece estar asociado directamente con el N y sí con la eficiencia general de uso de los recursos del ambiente.

Absorción de nitrógeno y N en grano.

Como, finalmente más crecimiento sería el resultado de más agua residual del crecimiento a R 5.0 pero también de mejor estatus nutricional, a continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a absorción y uso del N.

Cuadro 3.- Dinámica de absorción de nitrógeno para el cultivo de Maíz.

		N Agregado en V6 (Kg.ha ⁻¹)			
		0	30	60	Media
Con	N inicial suelo	15,0	15,0	15,0	15,0
AZO	N-total absorbido a Cosecha	135	172	175	161
	N- Grano a Cosecha	67,6	81,9	88,2	79,2
	Absorción de siembra a cosecha	120	157	160	146
Sin	N inicial suelo	15,0	15,0	15,0	15,0
AZO	N-total absorbido a Cosecha	128	155	142	142
	N- Grano a Cosecha	60,9	67,3	67,9	65,3
	Absorción de siembra a cosecha	113	140	127	126

En el cuadro 3 se observa en promedio mayor absorción total de N a cosecha para el cultivo inoculado. Se estableció una diferencia de 20 Kg. de N absorbido por el efecto inoculado, que a priori coincidiría con los reportes del efecto *Azospirillum* (Bhattacharya *et al.* 1993). Podemos observar que la absorción sin considerar el N acumulado a siembra sigue igual patrón que la producción total de biomasa y por tanto rendimiento en grano. El cultivo inoculado absorbió a las primeras 30 UN mayor cantidad del N que el que fue adicionado, sin cambios posteriores, mientras que sin *Azospirillum* la absorción para las 30 UN iniciales fue similar al agregado, pero se evidencia una fuerte caída posterior a dosis mayores. Esto parece ser el resultado de otros efectos no asociados al N, que pueden afectar el crecimiento y finalmente también la absorción total de N.

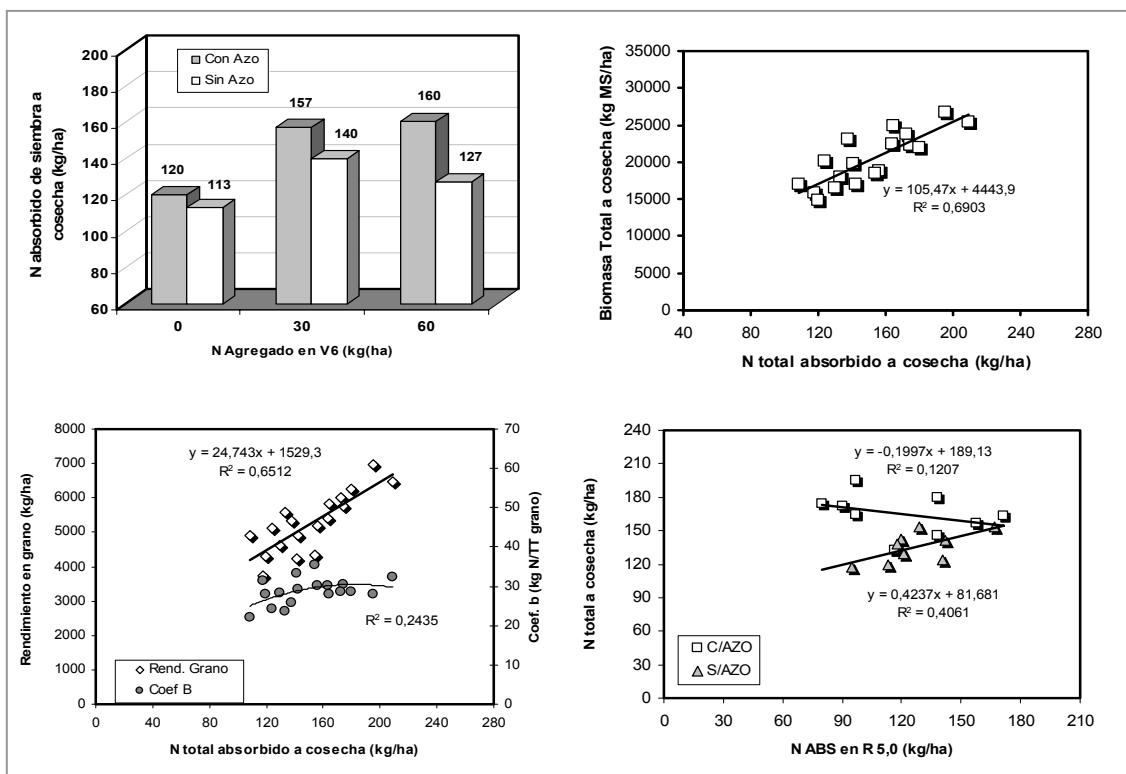


Figura 11. Relación de absorción de N, crecimiento y rendimiento para los distintos tratamientos evaluados.

Vemos que mayor N absorbido determinó más biomasa a cosecha y rendimiento en grano sin grandes alteraciones en el Coeficiente b (Kg. de N/tt de grano). Sin embargo, en los niveles más bajos de rendimiento en grano asociado con baja biomasa total el ambiente estaría condicionado por el N y no sólo por el agua residual en llenado, dado un Coeficiente b que tiende a ser menor.

De todas formas, la información en la figura 10 permite ver que gran parte de la variación de rendimiento provocada por los tratamientos termina finalmente estando asociado al crecimiento total posterior a R 5.0 y por tanto asociado a la tasa de absorción de N. Esto coincide con los resultados reportados por Bennet y Tucker, (1986) y Borghi y Wornicov. (1998). Cuando observamos la relación entre la absorción de N a R 5.0 y la absorción posterior, vemos una similar respuesta que la analizada para componentes de rendimiento (Fig. 8 y 9). El cultivo con menos N absorbido a R.5.0, pudo mantener el peso de grano sólo si logró absorber más N de inicio de floración a madurez fisiológica. Esto fue posible si existió crecimiento en este período, lo que básicamente ocurrió cuando el maíz fue inoculado con *Azospirillum* (Fig. 10).

La menor variabilidad del rendimiento y la menor dependencia del número de granos.m⁻², explicada por la mayor capacidad de compensación por PG, cuando el cultivo fue tratado con *Azospirillum*, resultó ser la consecuencia de una posible mejor nutrición nitrogenada, pero sobre todo a los efectos aún no claramente asociados al crecimiento durante el llenado de grano.

En la siguiente figura se presenta el efecto del *Azospirillum* sobre la concentración de N en el grano de maíz

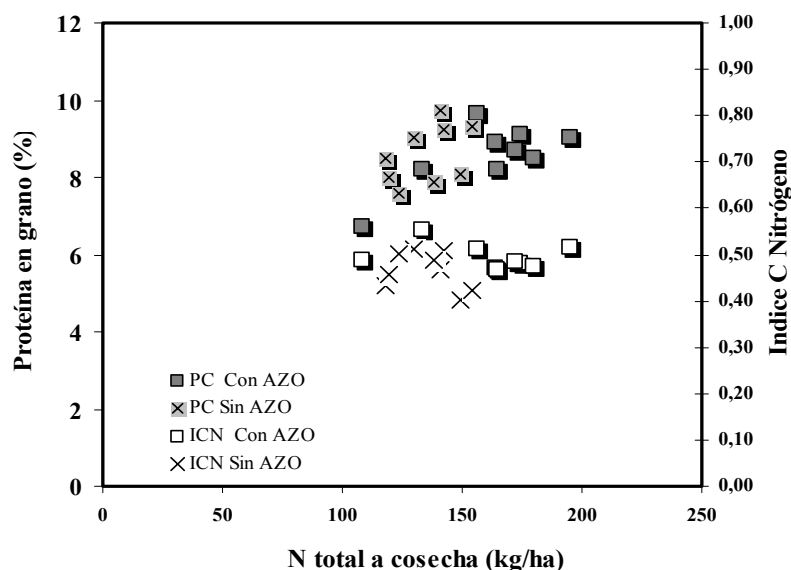


Figura 12. Índice de cosecha de N y proteína en grano en función del total de N absorbido a cosecha.

De la figura 12, podemos extraer que el cultivo inoculado con *Azospirillum* lleva a una mayor captura total de N, pero considerando que no se alteró el ICN, la cantidad total de N en grano es mayor, pero como también aumenta el rendimiento en grano, el % de proteína en grano es independiente de la inoculación con *Azospirillum*.

Si bien por encima de 140-150 Kg/ha de N absorbido a cosecha se alcanzan niveles aceptables de proteína en grano (mayores al 8%), el verdadero cambio en calidad sería si el destino del maíz fuese para consumo animal (reservas de planta entera), dado que se capitalizaría todas las ventajas observadas en biomasa total.

CONSIDERACIONES FINALES

- Si bien no existió respuesta significativa al inoculado con *Azospirillum*, se obtuvo una mejora en el rendimiento en grano promedio de 17% (800 Kg de grano/ha), y 2500 Kg de MS/ha más, a pesar de las condiciones de chacra.
- El mayor rendimiento en grano del cultivo de maíz inoculado con *Azospirillum*, estuvo asociado a más biomasa generada desde floración a madurez fisiológica, a pesar de la fuerte deficiencia de N al inicio del ciclo.
- El crecimiento vegetal diferencial del cultivo inoculado se hizo muy evidente en las dosis mayores de N, cuando el testigo sin inocular creció menos por menor residuo hídrico durante el llenado. A este nivel, la diferencia en potencial se elevó a 29% (> 1300 Kg. grano/ha), como consecuencia de la pérdida de potencial en el cultivo sin inocular.
- El cultivo inoculado mostró siempre espigas más grandes, pero sobre todo de mayor peso de grano, pudiendo compensar por mayor PG, a niveles menores de granos.m⁻².
- A pesar de la mayor cantidad total de N translocado al grano (más N total absorbido e igual ICN que el cultivo sin inocular), la proteína bruta en grano se mantuvo incambiada para el cultivo inoculado, asociado al mayor rendimiento en grano obtenido.

Al igual que otros trabajos revisados, los resultados obtenidos fueron independientes de la respuesta al agregado de N en V6, y si bien el trabajo no permite profundizar en las bases de las diferencias a favor del cultivo inoculado con *Azospirillum*, de alguna manera esta mejora podría estar relacionada al mejor uso del agua durante el ciclo de cultivo.

BIBLIOGRAFIA

1. **Bashan, Y. 1999.** Interactions of *Azospirillum spp* in soils: a review. *Biol Fertil Soils*. 29:246-256.
2. **Bhattacharya , P y Chaudurhi. S.P. 1993.** Biofertilizer: Opening a new horizon. *Yohana* 37 (9). Pp. 12-31
3. **Bennet. WF y Tucker, B. 1986.** Producción moderna de Sorgo Granífero. Buenos Aires Hemisferio Sur. 128 p.ç
4. **Borghi. E y Wornicov, CG. 1998.** Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y planta para el ajuste de la refertilización nitrogenada en el cultivo de Maíz. Tesis Facultad de Agronomía. UDELAR. Uruguay.
5. **Caballero-Mellado, J.2002.** El género *Azospirillum*.. In: *Microbios en Línea*. Cap. 14. Ed: Dra Martínez Romero, E; Martínez Romero, J
6. **Díaz Zorita, M; Baliña, RM; Fernández-Canigia, MV; Peticari, A. 2006.** Rendimiento de cultivos de trigo en la región pampeana inoculados con *Azospirillum brasilense*. CONICET-FAUBA, INTA Cautelar. Argentina
7. **Fallik, E; Sarig, S; Okon, Y. 1988.** Morphology and physiology of plant root associated with *Azospirillum*. In: *Azospirillum-Plant Associations* (Y. Okon, Ed), pp 77-86. CRC Press, Boca Raton, Fla.
8. **Gibson. A. and P. Nutman. 1960.** *Ann. Bot. London*, 24: 420-433.
9. **Okon y C. Labandera-Gonzalez. 1994.** Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol. Biochem.* Vol 26 (12):1591-1601.
10. **Pate, J.S. 1973.** *Soil Biol. and Bioch.* 5: 109-119.
11. **Racca, R. 2003.** Fijación biológica de nitrógeno. En: *II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID.* Tomo 2. Pp 197-208.
12. **Steinbach, HS; Alvarez, R; Roveri, A; Salas, J; Montané, O; Griguera, S. 2005.** Ajuste en la estimación de los requerimientos de nitrógeno del cultivo de Maíz en la pampa ondulada. In. *VIII Congreso Nacional de Maíz.* Rosario Argentina