

RESPUESTA DEL ARROZ A LA INOCULACIÓN CON *Azospirillum* o *Herbaspirillum*

Informe Preliminar

El objetivo del trabajo que se instaló por segundo año consecutivo, es evaluar los efectos de inoculación de semilla de arroz con *Azospirillum* o *Herbaspirillum*, en distintos niveles de fertilización nitrogenada.

Materiales y Métodos

A diferencia del año anterior, en que se utilizó la variedad El Paso 144, el 23 de octubre de 2009 se sembró la variedad INIA Olimar, a razón de 490 semillas viables/m².

En forma previa a la siembra, se extrajeron muestras de suelos en cada uno de los bloques del ensayo. En el Cuadro 1 se presentan los resultados de sus análisis.

Cuadro 1. Análisis de suelos

Bloque	pH (H ₂ O)	C.O %	P ppm Bray1	K meq/100g
I	5,4	1,19	3,5	0,20
II	5,5	1,12	4,1	0,24
III	5,6	1,14	3,3	0,18

Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con 100 kg/ha de fosfato de amonio (N₁₈ P₄₆).

Los tratamientos consistieron en la combinación de 2 factores, inoculación de la semilla y fertilización nitrogenada en cobertura, dispuestos según un factorial completo (3x3):

- inoculación de semilla (con *Azospirillum* o *Herbaspirillum*, o sin inóculo);
- nivel de nitrógeno en cobertura (0, 23 y 46 kg/ha de N).

Para las inoculaciones, se utilizaron fuentes proporcionadas por la empresa Lage & Cía, a razón de 1200 cc para ambos productos, con el agregado de 250 cc de Bioprotector L-23, cada 100 kg de semilla.

En las aplicaciones en cobertura se usó urea como fuente de nitrógeno.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones. El tamaño de parcelas utilizado fue el resultante de pasar

2 veces una sembradora de 9 hileras separadas 0,17 m entre sí, en un largo de 8,1 m (24,79 m²). Cada parcela fue aislada de sus vecinas, mediante la construcción de tapias por los 4 frentes, de manera de poder realizar un riego independiente para evitar posibles traslados de los organismos entre ellas.

Junto a los 9 tratamientos descriptos, se incluyó un testigo sin inoculación de semilla que recibió una dosis nitrogenada en cobertura mayor (69 kg/ha de N).

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de los tratamientos utilizados.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados

Trt No	Inoculación	Coberturas N*		N total kg/ha
		mac	EE	
1	Sin	0	0	18
2	<i>Azospirillum</i>	0	0	18
3	<i>Herbaspirillum</i>	0	0	18
4	Sin	23	23	64
5	<i>Azospirillum</i>	23	23	64
6	<i>Herbaspirillum</i>	23	23	64
7	Sin	11,5	11,5	41
8	<i>Azospirillum</i>	11,5	11,5	41
9	<i>Herbaspirillum</i>	11,5	11,5	41
10	Sin	34,5	34,5	87

* mac= macollaje; EE= elongación de entrenudos

En referencia a los niveles de nitrógeno, se trató de evaluar un rango de cantidades de urea utilizadas habitualmente por los productores de arroz de la región, dividiendo el suministro 50% al macollaje y el resto previo a la formación del primordio floral. En los tratamientos 4, 5 y 6 se utilizó una bolsa de urea en cada etapa, y en los tratamientos 7, 8 y 9, media bolsa respectivamente. En el caso del tratamiento 10, se utilizó 1 y ½ bolsas en cada oportunidad.

La fertilización de macollaje fue realizada el 3 de diciembre de 2009 y la correspondiente a la elongación de entrenudos el 28 del mismo mes. El cultivo fue inundado un día después de realizada la primera cobertura.

Las malezas fueron controladas el 24 de noviembre, mediante la aplicación de una mezcla de tanque, compuesta por propanil, quinclorac, clomazone y pirazosulfuron etil (Propagri 3,3 l/ha, Facet 1,3 l/ha, Cibelcol 0,8 l/ha y Cyperex 0,1 kg/ha).

Al inicio de floración se realizaron estimaciones de la actividad clorofiliana en la última hoja desarrollada, mediante lecturas con un SPAD.

En forma previa a la cosecha se midió la altura de 6 plantas y se extrajeron 2 muestreos al azar de 0,3m x 0,17m por parcela, para realizar un análisis de componentes del rendimiento. Dos muestras adicionales de igual tamaño, fueron utilizadas para estimar el índice de cosecha (producción de grano / producción total de materia seca) y la absorción de N en paja y grano respectivamente. También se realizó una evaluación por apreciación visual de las enfermedades de los tallos (Podredumbre de los Tallos y Manchado Confluyente de Vainas) y del Quemado del arroz o Brusone.

Para la cosecha las parcelas fueron desbordadas en su largo mayor, cosechándose 6,6 m en los 5 surcos centrales de cada pasaje de sembradora (5x2x6,6x0,17) m². La cantidad de grano cosechada fue pesada en el campo y se tomó una muestra para determinar su humedad. Posteriormente, se corrigió el peso obtenido en cada unidad a una base uniforme de 13% de humedad, para analizar los rendimientos obtenidos.

En varias parcelas fueron observados problemas de “espiga erecta” Por tal motivo, al momento de cosecha se hizo una evaluación por apreciación visual utilizándose una escala de 0 a 3, teniendo en consideración la presencia y la intensidad del problema.

En el inicio se realizaron 2 tipos de análisis estadístico de los registros. En uno de ellos se utilizaron los 10 tratamientos presentados en el Cuadro 2 con sus 3 repeticiones, mientras que en el otro se analizó el factorial inoculación X nitrógeno (3 x 3), excluyendo el tratamiento 10.

Resultados

La presencia de espiga erecta o “straighthead”, fue observada con distinta

intensidad en 17 de las 30 parcelas, pero con mayor frecuencia en aquellas donde no se realizaron coberturas nitrogenadas. Ello provocó mayor variabilidad y sin duda afecta la evaluación de los tratamientos.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos en el rendimiento y sus componentes considerando los 10 tratamientos.

Cuadro 3. Rendimiento y sus componentes. Resultados de los análisis de varianza considerando 10 tratamientos*

Fuente	Rend	pan	ll/p	v/p	t/p	PMG
Bloque	0,10	ns	ns	ns	ns	ns
Trat.	0,008	ns	ns	ns	ns	ns
Media	6.544	594	67	21	89	26,3
C.V.%	18,3	16,1	23,9	47	16	1,1
no-adit	-	0,07	0,11	-	-	-

* Trat.= tratamientos; Rend= rendimiento; pan= panojas/m²; ll/p= granos llenos por panoja; v/p= granos vacíos por panoja; t/p= total de granos por panoja; PMG= peso de mil granos

Con un rendimiento medio de 6.544 kg/ha (56% del obtenido en la zafra anterior) se encontraron diferencias significativas debidas a los tratamientos (p< 0,008). En el Cuadro 4 se puede observar que la máxima cosecha fue obtenida con la mayor fertilización, pero dada la alta variabilidad observada (C.V. 18,3%), sólo 2 tratamientos fueron estadísticamente inferiores según el test de Tukey al nivel de 5%. En general se puede inferir un efecto positivo de la cobertura nitrogenada, el que fue sin lugar a dudas incrementado por la presencia de “espiga erecta” en 8 de las 9 parcelas que no la recibieron.

Cuadro 4. Rendimientos promedio de los 10 tratamientos ordenados en forma decreciente *

Tratamiento	Inoculación	N tot	Rendimiento kg/ha	
10	Sin	87	8.407	a
4	Sin	64	7.576	ab
7	Sin	41	7.376	abc
6	Herbaspirillum	64	7.246	abc
5	Azospirillum	64	7.024	abc
2	Azospirillum	18	6.694	abc
8	Azospirillum	41	6.320	abc
9	Herbaspirillum	41	6.046	abc
3	Herbaspirillum	18	4.737	bc
1	Sin	18	4.015	c
Tukey₀			3.495	

* valores seguidos por la(s) misma(s) letra(s) no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey al nivel de 5%

En el Cuadro 5 donde se presentan los resultados obtenidos según el análisis factorial 3x3, se confirma que el factor determinante de las diferencias encontradas en los rendimientos ha sido el nitrógeno, no detectándose diferencias significativas debidas a la inoculación de la semilla ni a la interacción de ambos factores.

Cuadro 5. Rendimiento Resultados de los análisis del factorial 3x3 (Inoculación x N) *

Fuente	Rend	pan	ll/p	v/p	t/p	PMG
Bloque	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inoc.	ns	ns	ns	ns	0,08	ns
Nit	0,007	ns	ns	ns	ns	0,1
Ino x N	ns	ns	ns	9,7	ns	0,03
Media	6.337	596	67	21	89	26,3
C.V.%	19,9	18,5	24,5	47	16	0,9

*Rend= rendimiento; pan= panojas/m²; ll/p= granos llenos por panoja; v/p= granos vacíos por panoja; t/p= total de granos por panoja; PMG= peso de mil granos / Inoc.= inoculación; Nit= nitrógeno; In x N= interacción inoculación por nitrógeno

En relación a los componentes, en cuyos análisis también se encontraron coeficientes de variación elevados, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el análisis general (10 tratamientos). Analizados como factorial, se puede observar en el Cuadro 5 una tendencia en el tamaño de las panojas (p< 0,08) e interacción en el peso de granos (p<0,03, respectivamente), que en parte están relacionadas con los problemas de producción de las parcelas que no recibieron coberturas nitrogenadas.

Si bien el problema de “espiga erecta” se presentó también en algunas de las 21 parcelas que recibieron cobertura nitrogenada, con el objetivo de reducir su posible interferencia en los resultados obtenidos, se decidió analizar los registros excluyendo la información generada en los tratamientos 1, 2 y 3 (que recibieron sólo 18 kg/ha de N en la siembra).

En los Cuadros 6 y 7 se pueden observar los resultados obtenidos en los nuevos análisis estadísticos (comparables a los presentados en los Cuadros 3 y 5 respectivamente). En el primer caso se puede apreciar en casi todas las variables una reducción en la variabilidad (C.V.), un incremento de 600 kg/ha en el rendimiento medio y la desaparición del efecto significativo de los tratamientos en la productividad. En relación a los componentes del rendimiento, si bien no se encontraron resultados estadísticamente

diferentes a los presentados en el Cuadro 3, se nota la desaparición de significancia en la “no-aditividad” (interacción bloque x tratamientos) detectados en los análisis de número de panojas y granos llenos por panoja (p< 0,07 y p< 0,11 respectivamente).

En el Cuadro 7, se puede observar que en el análisis del factorial 3x2 (3 situaciones de inoculación y 2 niveles de nitrógeno en cobertura), el efecto nitrógeno en los rendimientos deja de ser estadísticamente significativo. Al igual que en la comparación anterior, se nota una reducción en los coeficientes de variación de los números de granos llenos y vacíos por panoja y en el tamaño de las panojas.

Cuadro 6. Rendimiento y sus componentes. Resultados de los análisis de varianza considerando 7 tratamientos*

Fuente	Rend	pan	ll/p	v/p	t/p	PMG
Bloque	0,13	ns	ns	ns	ns	ns
Trat	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Media	7.142	601	70	19	89	26,4
C.V.%	17,1	15,4	16,3	39	15	1,1
no-adit	-	-	-	-	-	-

* Trat= tratamientos; Rend= rendimiento; pan= panojas/m²; ll/p= granos llenos por panoja; v/p= granos vacíos por panoja; t/p= total de granos por panoja; PMG= peso de mil granos

Cuadro 7. Rendimiento Resultados de los análisis del factorial 2x3 (Inoculación x N) *

Fuente	Rend	pan	ll/p	v/p	t/p	PMG
Bloque	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inoc.	ns	ns	ns	ns	0,11	0,07
Nit	ns	ns	ns	ns	ns	0,05
Ino x N	ns	ns	ns	9,7	ns	ns
Media	6.931	606	69	19	88	26,3
C.V.%	19,1	19,0	16,2	37	13	0,9

Rend= rendimiento; pan= panojas/m²; ll/p= granos llenos por panoja; v/p= granos vacíos por panoja; t/p= total de granos por panoja; PMG= peso de mil granos / Inoc.= inoculación; Nit= nitrógeno; In x N= interacción inoculación por nitrógeno

En relación a algunas diferencias encontradas entre los 2 análisis factoriales, se puede observar en la Figura 1 la mayor producción de granos por panoja obtenidos cuando se inoculó la semilla con *Herbaspirillum* (p< 0,08 en Cuadro 5). Combinando este componente del rendimiento con el número de panojas por unidad de superficie, se obtiene la cantidad de granos llenos producidos por metro cuadrado, cuya expresión gráfica se presenta en la Figura 2. En la misma se puede observar que se mantiene la superioridad potencial de rendimiento del *Herbaspirillum* en los 3 niveles de

nitrógeno, pero existió una compensación a nivel del peso de granos, que en general resultó en una relación inversa a la capacidad a ser llenada. Cuanto mayor fue la dosis de N aplicada, menor fue el peso de granos, en los casos en los que la semilla fue inoculada con *Herbaspirillum* y *Azospirillum* (Figura 3). Cuando no se inoculó la semilla y sólo se fertilizó en la siembra, se obtuvieron las panojas más pequeñas, el menor número de granos llenos/m² y el peso de granos más liviano; sin embargo, sin inocular y fertilizando con 64 kg/ha de N, se lograron los granos más pesados (efectos de la interacción inoculación x nitrógeno significativos observado en el Cuadro 5, $p < 0,03$; efectos simples de la inoculación y del N sobre el peso de granos, $p < 0,07$ y $p < 0,05$ respectivamente, cuando se excluyó N₁₈ observados en el Cuadro 7).

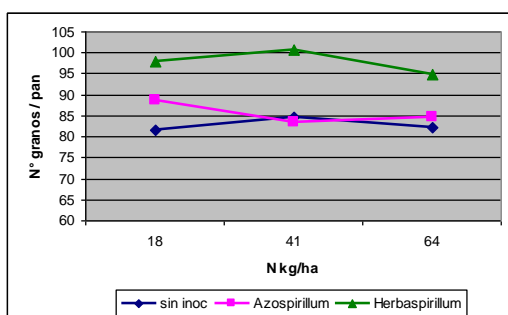


Figura 1. Tamaño de panoja (número total de granos), según la inoculación y los niveles de nitrógeno

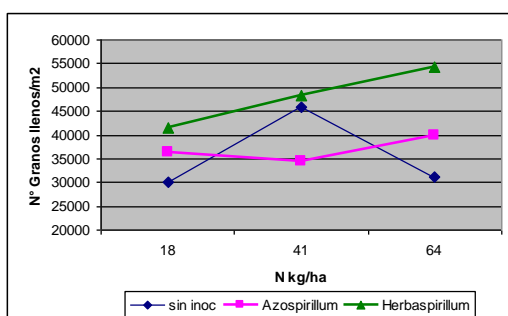


Figura 2. Número de granos llenos por unidad de superficie, según la inoculación y los niveles de nitrógeno

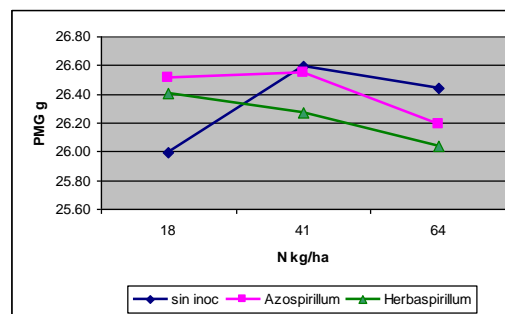


Figura 3. Peso de mil granos, según la inoculación y los niveles de nitrógeno

Se presentan a continuación resultados obtenidos en los análisis de otras variables, registradas al inicio de floración o en el momento de cosecha. Por los problemas señalados en la discusión previa, sólo se presentan en el Cuadro 8 los correspondientes a los efectos de los 7 tratamientos, sin considerar los que no tuvieron cobertura, e incluyendo la máxima fertilización nitrogenada, y por otro en el Cuadro 9 los resultantes de analizar los registros como un factorial 3x2.

Cuadro 8. Registros a comienzos de floración (SPAD) y cosecha. Resultados de los análisis de varianza considerando 7 tratamientos*

Fuente	Spad	Alt cm	IC	ISD	
				MCV	PT
Bloque	0,07	ns	0,04	0,09	0,005
Trat	ns	ns	ns	ns	ns
Media	36,4	87	0,49	11,5	28,7
C.V.%	2,6	2,4	13,9	47,2	43,0
no-adit	-	-	-	-	-

* Trat= tratamientos; no adit.= no aditividad; Alt= altura; IC= índice de cosecha; ISD= índice de severidad de daño; MCV= manchado confluyente de vainas; PT= podredumbre de los tallos

En el primero de ellos, no se encontraron efectos significativos de los tratamientos en ninguna de las variables estudiadas: estimaciones de la actividad clorofiliana (SPAD) a inicios de floración, altura de plantas al momento de cosecha, índice de cosecha e índices de severidad de las enfermedades de los tallos.

En el análisis factorial inoculación por fertilización nitrogenada, solamente se detecta al nivel $p < 0,06$ de significación, el incremento de la severidad de la Podredumbre de los Tallos al aumentar la dosis de N (N₄₁: 19,7%; N₆₄: 32,4%).

Cuadro 9. Registros a comienzos de floración (SPAD) y a la cosecha. Resultados de los análisis del factorial 2x3 (Inoculación x N) *

Fuente	Spad	Alt cm	IC	ISD	
				MCV	PT
Bloque	0,03	ns	0,08	0,05	0,009
Inoc.	ns	ns	ns	ns	ns
Nit	ns	ns	ns	ns	0,06
Ino x N	ns	ns	ns	ns	ns
Media	36,3	86	0,48	10,9	26,1
C.V.%	2,2	2,3	15,7	48,3	48,5

*Alt= altura; IC= índice de cosecha; ISD= índice de severidad de daño; MCV= manchado confluyente de vainas; PT= podredumbre de los tallos Inoc.= inoculación; Nit= nitrógeno; In x N= interacción inoculación por nitrógeno

Se estudiaron las correlaciones simples entre algunas variables registradas y los rendimientos obtenidos. En el Cuadro 10 se presentan los resultados obtenidos en 4 tipos de análisis realizados, teniendo en consideración todos los tratamientos de cobertura nitrogenada: a) conjunto de todos los datos (con y sin inoculación de la

semilla); b) utilizando sólo los generados en parcelas sin inocular; c) utilizando sólo las parcelas inoculadas con Azospirillum; d) inoculadas con Herbaspirillum.

Cuando se consideraron todas las parcelas, se destacaron en un orden decreciente de correlación con el rendimiento la espiga erecta, el índice de cosecha, la altura de las plantas, los índices de enfermedades y los números de granos vacíos y llenos por panoja. Las probabilidades de ocurrencia de esas relaciones no fueron las mismas, cuando los análisis de los registros fueron realizados dentro de cada grupo de inoculación. A su vez, el peso de los granos resultó correlacionado en forma significativa con el rendimiento en los casos sin inocular y cuando se inoculó con Azospirillum, lo que no sucedía en el análisis general.

Cuadro 10. Correlaciones simples entre distintas variables estudiadas y el rendimiento, considerando todos los tratamientos de cobertura*

Variable	Con y sin inocular.		Sin inocular		c/Azospirillum		c/Herbaspirillum	
	r	Probab.	r	Probab.	r	Probab.	r	Probab.
SPAD	0,14	1,0	-0,20	1,0	0,36	0,34	0,33	1,0
Días S-Flor.	-0,08	1,0	-0,12	1,0	0,21	1,0	0,09	1,0
Altura	0,72	0,000	0,82	0,006	0,47	0,20	0,60	0,09
Indice Cos.	0,84	0,000	0,88	0,001	0,93	0,000	0,81	0,008
Pod. tallos	0,67	0,000	0,69	0,04	0,59	0,10	0,69	0,04
M. vainas	0,67	0,000	0,68	0,04	0,64	0,07	0,75	0,02
Panojas/m ²	-0,11	1,0	0,14	1,0	-0,18	1,0	-0,14	1,0
G. llenos/p	0,50	0,004	0,48	0,19	0,72	0,03	0,66	0,05
G. vacíos/p	-0,64	0,000	-0,42	0,26	-0,49	0,18	-0,89	0,001
Tot. Gr/p	0,08	0,12	0,38	0,31	0,40	0,29	-0,14	1,0
PMG	0,12	1,0	0,85	0,004	-0,69	0,04	-0,44	0,24
EE	-0,94	0,000	-0,97	0,000	-0,80	0,009	-0,97	0,000
n	30		9		9		9	

* r= coeficiente de correlación; Probab.= probabilidad de error (significación estadística); Días S-flor.= días de siembra a 50% de floración; Indice cos.= índice de cosecha; Pod. Tallos= podredumbre de los tallos; M. vainas= manchado de las vainas; G. llenos/p= granos llenos por panoja; G. Vacíos/p= granos vacíos por panoja; Tot. Gr/p= total de granos por panoja; PMG= peso de mil granos; EE= espiga erecta; n= (Número de pares de datos)

En el Cuadro 11 se presentan los resultados obtenidos en los 3 grupos correspondientes a la inoculación, cuando sólo se consideraron en los análisis los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada en cobertura. Mientras que el índice de cosecha y los problemas de presencia de espiga erecta se mantienen muy relacionados con los rendimientos en toda las situaciones, la altura de plantas

sólo mantiene relación significativa con el mismo en el caso de Herbaspirillum. La cantidad de granos llenos (y/o vacíos) por panoja, y el peso de granos presentan cierta significación estadística con la productividad en el caso de las parcelas inoculadas con Azospirillum. Ello puede tener relación con lo observado en las Figura 2 y 3.

Cuadro 11. Correlaciones simples entre distintas variables estudiadas y el rendimiento, excluyendo los tratamientos sin cobertura nitrogenada*

Variable	Sin inocular		c/Azospirillum		c/Herbaspirillum	
	r	Probab.	r	r	Probab.	r
SPAD	-0,61	0,20	0,33	1,0	0,75	0,09
Altura	0,56	0,25	0,24	1,0	0,94	0,005
Indice Cos.	0,88	0,03	0,92	0,008	0,92	0,008
Pod. tallos	-0,02	1,0	0,57	0,24	0,56	0,24
M. vainas	-0,42	1,0	0,69	0,13	0,65	0,17
Panojas/m ²	0,45	1,0	-0,22	1,0	-0,15	1,0
G. llenos/p	0,58	0,23	0,82	0,04	0,57	0,24
G. vacíos/p	0,12	1,0	-0,78	0,07	-0,95	0,004
Tot . Gr/p	0,79	0,06	0,54	0,27	-0,64	0,17
PMG	0,29	1,0	-0,78	0,07	-0,07	1,0
EE	-0,81	0,05	-0,86	0,03	-0,98	0,000
n	6		6		6	

* r= coeficiente de correlación; Probab.= probabilidad de error (significación estadística); Días S-flor.= días de siembra a 50% de floración; Índice cos.= índice de cosecha; Pod. Tallos= podredumbre de los tallos; M. vainas= manchado de las vainas; G. llenos/p= granos llenos por panoja; G. Vacíos/p= granos vacíos por panoja; Tot. Gr/p= total de granos por panoja; PMG= peso de mil granos; EE= espiga erecta; n= (Número de pares de datos)

Consideraciones finales

El estudio que incluyó distintos niveles de fertilización nitrogenada, fue instalado en 2009-10 sobre un suelo de 1,15% de contenido medio de carbono orgánico. El 50% de floración del cultivo ocurrió en general dentro del período 1 al 3 de febrero de 2010, posterior al cual ocurrieron muchos días con un número de horas de sol diarias muy por debajo de lo normal (ver anexo). En parte estas condiciones climáticas desfavorables influyeron en la obtención de una baja producción de arroz. Además de ello, se pudo apreciar en varias unidades, la ocurrencia del fenómeno de espiga erecta, de causas no identificadas. Ello no sólo también contribuyó a la merma del rendimiento, sino que incidió en la obtención de una alta variabilidad en los datos registrados. Ese problema estuvo asociado mayormente a parcelas que no recibieron coberturas nitrogenadas.

El rendimiento promedio obtenido en parcelas que no recibieron más que el aporte nitrogenado de un fertilizante binario a la siembra (18 kg/ha de N) fue de 4.015 kg/ha en el caso de que no se inoculó la semilla, y de 6.694 y 4.737 kg/ha cuando se utilizó Azospirillum o Herbaspirillum respectivamente, lo que representan el 38,1, 60,7 y 44% de las productividades obtenidas un años antes con condiciones climáticas muy favorables.

En el análisis factorial inoculación x niveles de nitrógeno, no se detectaron diferencias por inoculación de la semilla, ni por su interacción con la fertilización nitrogenada. En el promedio de tratamientos de nitrógeno se obtuvieron 6.322 kg/ha cuando no se inoculó la semilla, 6.642 kg/ha inoculando con Azospirillum y 6.048 kg/ha cuando se utilizó Herbaspirillum.

De parte de INIA se considera de interés repetir la evaluación en el tema, dadas las excepcionales condiciones existentes en la evaluación, en parte debidas al marco climático general y en parte a la ocurrencia del problema de espiga erecta.

ANEXO

Registros climáticos en febrero de 2010*

Década	Horas de sol			Precipitaciones		
	09	hist	10	08	hist	09
1 - 10	9.3	7.9	5.0	75	150	449
11-20	9.1	7.6	5.6			

* Extractado de Agroclimatología. Boletín Periódico 3^o. Década de Febrero 2010. Unidad Experimental Paso de la Laguna