

***Azospirillum brasilense* en cebada cervecera bajo diferentes niveles de fertilización fosforo-nitrogenada**

Resultados de dos años de experiencias

**Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino,
Proyecto Regional Agrícola. Campañas 2009 y 2010**

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot

Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

El tratamiento de semillas con inoculantes que suministran microorganismos seleccionados es una práctica favorable con numerosos antecedentes de incremento en los rendimientos de trigo (Díaz-Zorita y Fernández-Canigia, 2008; Ferraris y Couretot, 2008; Ferraris, 2009; Valverde y Ferraris, 2010). Sin embargo, han sido menos estudiados en cebada cervecera y otras especies invernales. Con frecuencia, se asume que cebada y trigo manifiestan similar comportamiento y eficiencia de uso de recursos, aunque muchas experiencias en las cuales se cuantificó la respuesta al agregado de fertilizantes mostraron resultados diferenciales, dependiendo de la zona y la condición de cultivo bajo las cuales eran sembrados.

El objetivo de este trabajo fue: 1) Cuantificar el efecto sobre el rendimiento y otras variables de cultivo de un inoculante formulado sobre la base de *Azospirillum brasilense* y 2) Evaluar la interacción entre la inoculación y la fertilización fósforo-nitrogenada.

Hipotetizamos que: 1) Los microorganismos aportados tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal y mejorar el rendimiento del cultivo de cebada cervecera y 2) Los efectos son independientes del nivel de nutrición fósforo-nitrogenada, siendo aplicables a un amplio rango de ambientes productivos.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2009 y 2010, se realizaron sendos experimentos de campo en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico. En el experimento se evaluó el inoculante “Nitragin Bonus” el cual contiene 1×10^9 bacterias/ml de *Azospirillum brasilense*, bajo diferentes dosis de fósforo (P) y nitrógeno (N). El experimento fue conducido con un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, dos tratamientos de inoculación (testigo y fertilizado) y cuatro niveles de fertilización, conformando un factorial completo 2 x 4. La descripción de los tratamientos evaluados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados en el ensayo.*

Factor 1: Inoculación			Factor 2: Nivel de fertilización
Tratamiento de semilla	Momento de inoculación	Dosis de uso	Dosis fertilizante (kg ha ⁻¹)
I1. Testigo			F1: P0 N50
			F2: P0 N100
			F3: P20 N50
			F4: P20 N100
I.2. <i>Azospirillum brasilense</i> (Nitragin Bonus)	Siembra	10 ml kg semilla ⁻¹	F1: P0 N50
			F2: P0 N100
			F3: P20 N50
			F4: P20 N100

Los ensayos fueron implantados con una sembradora experimental de siembra directa que distancia las hileras a 0,20 m. En ambos casos, el antecesor fue soja de primera, y el cultivar sembrado Scarlett. Cuando correspondió al tratamiento, se usaron como fuente de P y N superfosfato triple de calcio (0-20-0) y urea granulada (46-0-0), respectivamente. Para protegerlo de enfermedades foliares, el cultivo fue tratado con el fungicida *Propiconazole* (25%) a la dosis de 500 ml ha⁻¹ en hoja bandera visible (Z 37).

Previo a la siembra, se realizó un análisis químico de suelo por bloque, cuyos resultados promedio se expresan en la Tabla 2.

Tabla 2: *Análisis de suelo al momento de la siembra*

Año	pH	Materia Orgánica	P-disp.	N-Nitratos	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-60 cm
	agua 1:2,5	%	ppm	ppm	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
2009	5,4	2,17	12,8	8,0	36,4	13,0
2010	5,8	2,57	10,7	4,0	41,6	31,2

Resultados y discusión

A) Características climáticas de la campaña

Durante 2009, las precipitaciones fueron reducidas durante el invierno y retornaron a partir de setiembre. No obstante, el cultivo manifestó un leve estrés en post-antesis, dado el incremento en la tasa de crecimiento y la mayor temperatura, mientras que las precipitaciones se mantuvieron en registros ajustados hasta la segunda década de noviembre (Figura 1.a). En 2010, la reserva inicial de agua en el suelo fue superior, abasteciendo las necesidades del cultivo sin déficit hasta noviembre, cuando la escasez de lluvias provocó un déficit moderado sin demasiado impacto en los rendimientos (Figura 1.b).

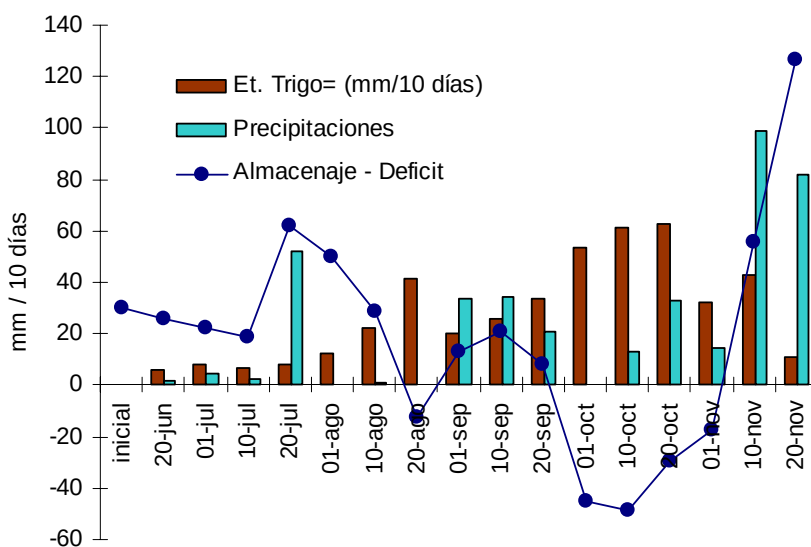


Figura 1.a

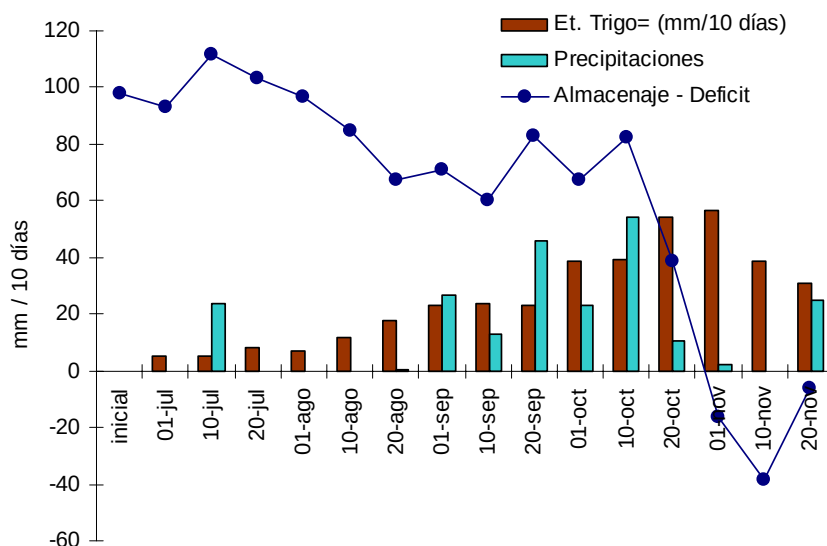


Figura 1.b

Figura 1: Evapotranspiración, precipitaciones y balance hídrico, expresados como lámina de agua útil (valores positivos) o déficit de evapotranspiración (valores negativos) para cebada en Pergamino. Valores acumulados cada 10 días en mm. Año 2009 (a) Lámina de agua útil inicial (1m) 30 mm, déficit acumulado en el ciclo 154 mm. Año 2010 (b) Lámina de agua útil inicial (1m) 98,5 mm, déficit acumulado en el ciclo 61 mm. Pergamino, año 2009.

B) Rendimientos del cultivo

En las Tablas 3 y 4 se presentan los datos de las variables evaluadas en el ensayo.

Tabla 3: Número de plantas emergidas, índice de vigor, materia seca acumulada en macollaje y a cosecha, rendimiento de grano, y significancia estadística de las variables medidas en el ensayo. Inoculación con *Azospirillum brasilense* bajo diferentes niveles de fertilización en cebada cervecera. Pergamino, año 2009.

Trat	Inoculación	Nivel fertilización (kg ha ⁻¹)	Plantas/ m ²	Índice de Vigor Zadoks 39	M. seca Z25 (kg ha ⁻¹)	M. seca Total (kg ha ⁻¹)
I1-F1	Testigo	P0 N50	133	3,8	497	10256
I1-F2		P0 N100	130	4,0	298	9569
I1-F3		P20 N50	155	3,9	804	10145
I1-F4		P20 N100	141	4,1	878	9771
I2-F1	<i>Azospirillum</i>	P0 N50	140	3,8	1115	8879
I2-F2		P0 N100	225	4,3	808	10993
I2-F3		P20 N50	152	4,4	824	10625
I2-F4		P20 N100	212	4,8	1141	13856

Trat	Inoculación	Nivel N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Diferencia x fertilización (kg ha ⁻¹)	Diferencia x inoculación (kg ha ⁻¹) a isodosis de fertilizante
I1-F1	Testigo	P0 N50	4101		
I1-F2		P0 N100	4349	248	
I1-F3		P20 N50	4611	510	
I1-F4		P20 N100	4442	341	
I2-F1	Azospirillum	P0 N50	4036		-65
I2-F2		P0 N100	4997	961	647
I2-F3		P20 N50	4829	793	218
I2-F4		P20 N100	6298	2262	1857
Inoculación=			0,168		
Fertilización=			0,001		
Interacción Inoc x Dosis N=			0,183		
CV (%)			13,3%		

Zadoks 25: cinco (5) macollos visibles; Zadoks 39: hoja bandera expandida (Zadoks et al., 1974)

Índice de Vigor: Escala de 1 a 5. 1: Muy bajo vigor 5: Vigor Excelente

Tabla 4: Índice de vigor, materia seca acumulada en inicios de encañazón y antesis, intensidad de verde por Spad, rendimiento de grano, y significancia estadística de las variables medidas en el ensayo. Inoculación con *Azospirillum brasilense* bajo diferentes niveles de fertilización en cebada cervecera. Pergamino, año 2010.

Trat	Inoculación	Nivel fertilización (kg ha ⁻¹)	Índice de Vigor Z39	M. seca Z31 (kg ha ⁻¹)	M. seca Z65 (kg ha ⁻¹)	Spad
I1-F1	Testigo	P0 N50	3,4	1550,0	4625,0	46,5
I1-F2		P0 N100	3,7	1625,0	6200,0	45,6
I1-F3		P20 N50	3,8	1937,5	6525,0	39,1
I1-F4		P20 N100	4,1	2525,0	7095,0	43,5
I2-F1	<i>Azospirillum</i>	P0 N50	3,5	1275,0	5637,5	42,2
I2-F2		P0 N100	3,8	1650,0	6297,5	45,7
I2-F3		P20 N50	4,0	1875,0	6525,0	39,1
I2-F4		P20 N100	3,9	2500,0	7000,0	46,1

Trat	Inoculación	Nivel N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Diferencia x fertilización (kg ha ⁻¹)	Diferencia x inoculación (kg ha ⁻¹) a isodosis de fertilizante
I1-F1	Testigo	P0 N50	5196,2		
I1-F2		P0 N100	5530,8	334,6	
I1-F3		P20 N50	5838,5	642,3	
I1-F4		P20 N100	6000,0	803,8	
I2-F1	Azospirillum	P0 N50	5526,9		330,8
I2-F2		P0 N100	6100,0	573,1	569,2
I2-F3		P20 N50	5869,2	342,3	30,8
I2-F4		P20 N100	5888,5	361,6	-111,5
Inoculación=			0,053		
Fertilización=			0,002		
Interacción Inoc x Dosis N=			0,104		
CV (%)			4,9%		

Zadoks 31: Un nudo del tallo visibles; Zadoks 39: hoja bandera expandida Zadoks 65: antesis (Zadoks et al., 1974)

Los rendimientos medios fueron superiores en 2010, principalmente a causa de un mejor estado hídrico del cultivo, sumado a la favorable relación entre radiación y temperatura (datos no presentados). Durante la campaña 2009, las diferencias entre las parcelas inoculadas y testigo fueron de mayor magnitud en presencia de adecuados niveles de fertilización (Tabla 3 y Figura 2.a), alcanzando un máximo de 1857 kg ha⁻¹ en el tratamiento P20N100. En cambio, no se determinó respuesta positiva al uso de inoculante para el nivel más bajo de fertilización, P0N50 (Tabla 3). Por el contrario, en 2010 se alcanzaron mayores niveles de respuesta en ausencia de P, siendo independientes del manejo de N (Tabla 4 y Figura 2.b).

Si bien existe evidencia de que la respuesta a la inoculación con *A. brasilense* y otros microorganismos es más estable con niveles al menos moderados de fertilización (Ferraris, 2009, Ferraris & Faggioli, 2011), los resultados de ambas campañas permiten inferir una relativa independencia entre nivel nutricional y respuesta a la inoculación, tal como informaron Díaz-Zorita & Fernández-Canigia (2008). Por su parte, un balance hídrico ajustado o moderadamente deficitario incrementaría la probabilidad de respuesta, gracias a la mayor habilidad del cultivo para adquirir recursos –agua y nutrientes– cuando es favorecido por el efecto promotor. La comparación entre ambas campañas muestra que, si bien la magnitud de respuesta fue superior en 2009 (Figura 3), en 2010 mostró mayor consistencia, ya que alcanzó la significancia estadística y el coeficiente de variación fue sensiblemente menor (Tablas 3 y 4).

Como sugieren investigaciones recientes, la respuesta media determinada en cebada (Figura 3) superaría a la de trigo, aunque hasta el presente se cuenta con menor información de aquel cultivo. La cebada cv Scarlett define temprano su rendimiento siendo el componente más variable y determinante el número de macollos m^{-2} . Precisamente, la temprana fijación del número de macollos viables lo hace uno de los componentes que con más frecuencia se ve incrementado ante el tratamiento con *Azospirillum brasilense*.

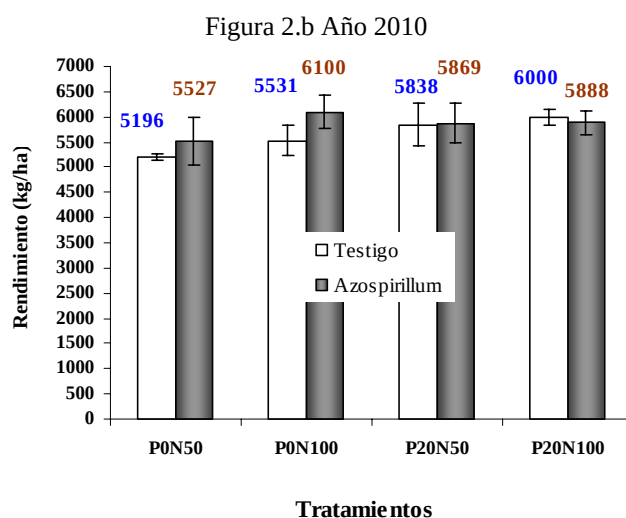
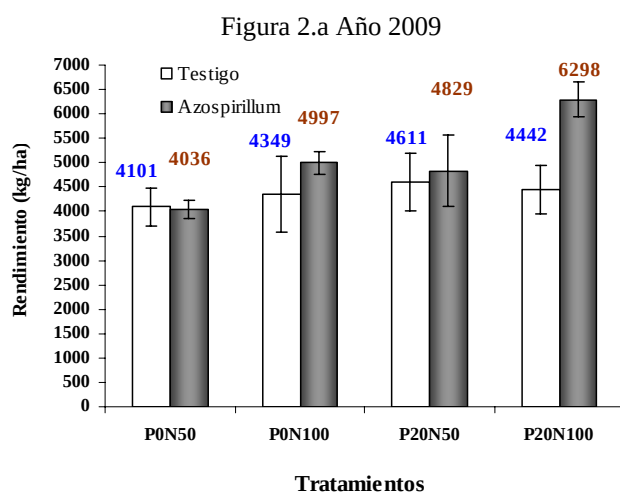


Figura 2: Rendimiento de grano de parcelas testigo o inoculadas con *Azospirillum brasilense* bajo diferentes niveles de fertilización fósforo-nitrogenada ($kg\ ha^{-1}$) aplicados a la siembra en cebada cervecera. Localidad de Pergamino, campañas 2009 (2.a) y 2010 (2.b). Las barras de error indican la desviación standard de la media.

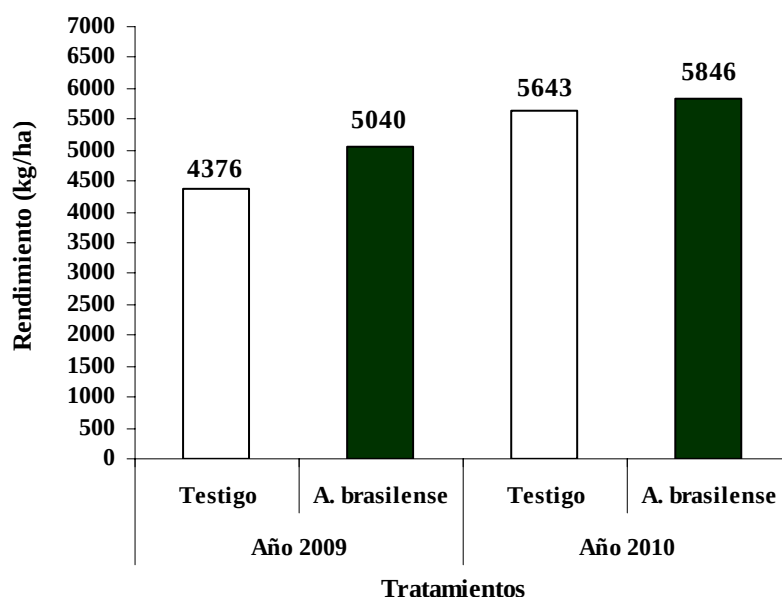


Figura 3: Rendimiento de grano de parcelas testigo o inoculadas con *Azospirillum brasilense*, promedio de diferentes combinaciones de P (0 y 20 kg ha⁻¹) y N (50 y 100 kg ha⁻¹).

Consideraciones finales

La hipótesis 1 –existe respuesta a la inoculación– es aceptada parcialmente, ya que se obtuvieron diferencias de rendimiento en el rango de -111 a 1857 kg ha⁻¹ según campaña y nivel de fertilización. La respuesta media alcanzó a 664 kg ha⁻¹ en 2009 y 203 kg ha⁻¹ en 2010, siendo significativas en esta última a pesar de su menor magnitud. Respecto de la hipótesis 2, la interacción inoculación x fertilización no fue significativa en ambas campañas. La práctica demostraría particular aptitud bajo condiciones de estrés hídrico moderado.

La inoculación de cebada cervecera con microorganismos promotores del crecimiento vegetal se presenta como una práctica favorable con potencialidad de incrementar la producción de biomasa y los rendimientos en la región norte de Buenos Aires, como complemento de un buen manejo agronómico que incluya la fertilización fósforo-nitrogenada del cultivo.

Bibliografía

- Díaz-Zorita M. & MV Fernández-Canigia. 2008. Field performance of liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *Eur. J. Soil Biol.* 1-9.
- Ferraris G. 2009. Microorganismos con efecto promotor de crecimiento (PGPM) en cultivos extensivos. Impacto sobre los rendimientos, la eficiencia de uso de los nutrientes y otros caracteres de interés agronómico. Resúmenes. pp8-9. En: II Jornadas Bonaerenses de Microbiología de Suelos. “Herramientas Microbiológicas para una Agricultura Sustentable” UNICEN, Azul (BA), 9 y 10 de Septiembre.
- Ferraris G. y L. Couretot. 2008. Respuesta a la inoculación con Micorrizas bajo dos ambientes de fertilización. pp 63-68. En: Trigo. Resultados de Experiencias. Campaña

2008. (Parte II). Proyecto Regional Agrícola. EEA Pergamino-Villegas. CRBAN. ISSN 1852-0472.

- Ferraris, G. & V. Faggioli. 2011. Inoculación con microorganismos con efecto promotor de crecimiento. Conocimientos actuales y experiencias realizadas en la Región Pampeana Argentina. 18 pp. En: Anales del Internacional de Rizósfera, Biodiversidad y Agricultura sustentable. XXII Congreso Argentino de Microbiología.
- Valverde, C. & G. Ferraris. 2010. Las Pseudomonas. Un grupo heterogéneo con diversos mecanismos promotores del desarrollo vegetal. En: Promotores del crecimiento Vegetal. Peticari, A, M. Puente y J. García (eds) (en prensa).
- Zadoks J.C., T.T. Chang, y C.F. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Res. 14: 415-421.