

***Pseudomonas fluorescens* en cebada cervecera bajo diferentes niveles de fertilización fosforo-nitrogenada**

**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 que contiene *Pseudomonas fluorescens* en su formulación 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 dos campañas, se realizaron experimentos de campo en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico. En el experimento se evaluaron diferentes estrategias de uso de un inoculante formulado con 1×10^9 ufc/ mL de *Pseudomonas fluorescens* en medio de cultivo líquido. 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 2×4 . 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)
I.1. Testigo			F1: P0 N50
			F2: P0 N100
			F3: P20 N50
			F4: P20 N100
I.2. <i>Pseudomonas fluorescens</i> + Protector	Siembra	<i>P. fluorescens</i> 5 ml kg semilla ⁻¹ + Protector 3,1 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 usó como fuente de P superfosfato triple de calcio (0-20-0) y urea granulada (46-0-0) como fuente de N.

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 la 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). En 2010, la reserva inicial de agua en el suelo fue superior, abasteciendo las necesidades del cultivo sin déficit hasta noviembre, cuando lo reducido de las precipitaciones provocó un déficit moderado sin demasiado impacto en los rendimientos.

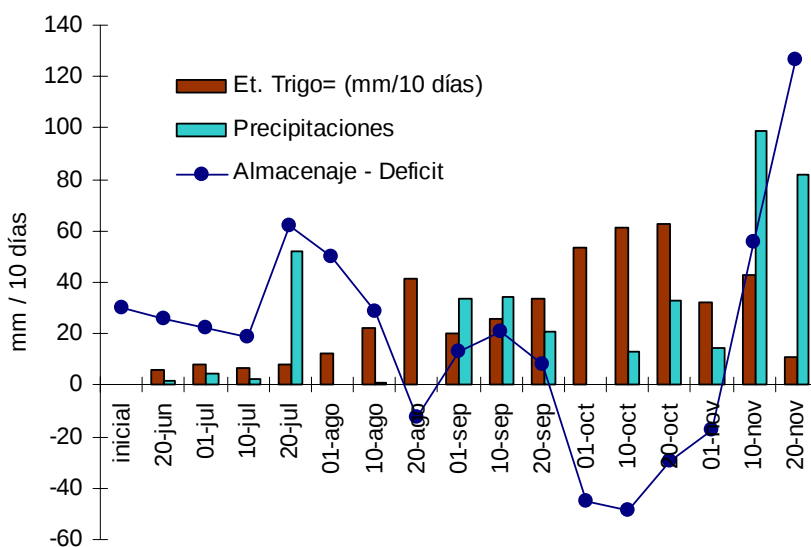


Figura 1.a

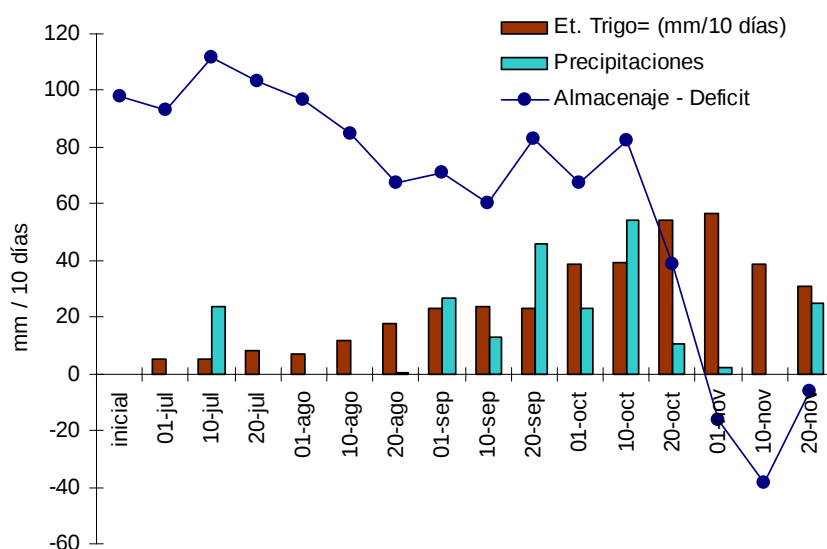


Figura 1.b

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) Resultados de los experimentos

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 *Pseudomonas fluorescens* 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>P. fluorescens</i>	P0 N50	201	3,7	1003	6228
I2-F2		P0 N100	152	4,1	769	9031
I2-F3		P20 N50	266	4,6	1327	13845
I2-F4		P20 N100	144	4,5	1551	11347

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	3632		-469
I2-F2		P0 N100	4105	473	-244
I2-F3		P20 N50	5973	2341	1361
I2-F4		P20 N100	5799	2167	1357
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 *Pseudomonas fluorescens* 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	3,5	1250,0	6200,0	38,5
I1-F3		P20 N50	3,7	1625,0	6200,0	45,6
I1-F4		P20 N100	3,6	1237,5	5550,0	46,0
I2-F1	<i>P. fluorescens</i>	P0 N50	3,8	1337,5	6525,0	39,1
I2-F2		P0 N100	3,8	1350,0	6525,0	38,1
I2-F3		P20 N50	4,1	1525,0	6962,5	43,5
I2-F4		P20 N100	4,1	1512,5	7550,0	40,7

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		
I1-F2		P0 N100	5531	334,6	
I1-F3		P20 N50	5838	642,3	
I1-F4		P20 N100	6000	803,8	
I2-F1	<i>P. fluorescens</i>	P0 N50	5373		176,9
I2-F2		P0 N100	5542	169,2	11,5
I2-F3		P20 N50	6096	723,1	257,7
I2-F4		P20 N100	6331	957,7	330,8
Inoculación=			0,290		
Fertilización=			0,008		
Interacción Inoc x Dosis N=			0,918		
CY (%)			5,9 %		

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

Tanto en 2009 como en 2010, se determinó efecto estadísticamente significativo de la fertilización sobre los rendimientos ($P < 0,05$). En cambio, no se observó interacción entre inoculación y fertilización, para ninguna de las variables evaluadas ($p > 0,10$) (Tabla 3 y 4). Aún así, la respuesta a la fertilización fue más notable cuando se realizó de manera conjunta con el tratamiento biológico con *Pseudomonas*, tendencia que fue más notable en 2009 (Figura 2). En este primer año, las diferencias entre las parcelas inoculadas y testigo fueron de mayor magnitud en presencia de adecuados niveles de fertilización, especialmente fosforada (Tabla 3 y Figura 2), alcanzando un máximo de 1361 kg ha⁻¹. Por el contrario, no se determinó respuesta positiva al uso de *Pseudomonas* en ausencia de fertilización fosforada (P0) (Tabla 3 y Figura 2). Durante el segundo año se repitió el comportamiento que sugiere una mayor respuesta cuando la inoculación es acompañada de P, aunque con diferencias de menor magnitud (Tabla 4 y Figura 2). No se puede mejorar la eficiencia de un recurso que es severamente deficitario. Esto concuerda con los resultados de un ensayo de inoculación con *Pseudomonas fluorescens* realizado en trigo en la misma localidad durante 2009 (Ferraris & Couretot, 2010), en el cual la respuesta fue de mayor magnitud bajo una dosis de N100 (673 kg ha⁻¹) en comparación con N50 (228 kg ha⁻¹).

Como sugieren investigaciones recientes, la respuesta media determinada en estos experimentos de cebada (348 kg ha⁻¹) (Figura 3) superaría a la de trigo (286 kg

ha⁻¹) (Ferraris & Couretot, 2010), aunque hasta el presente se cuenta con menor información de aquel cultivo (2 experimentos en cebada vs 12 en trigo). 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 la inoculación con un microorganismo con capacidad para promover el crecimiento vegetal.

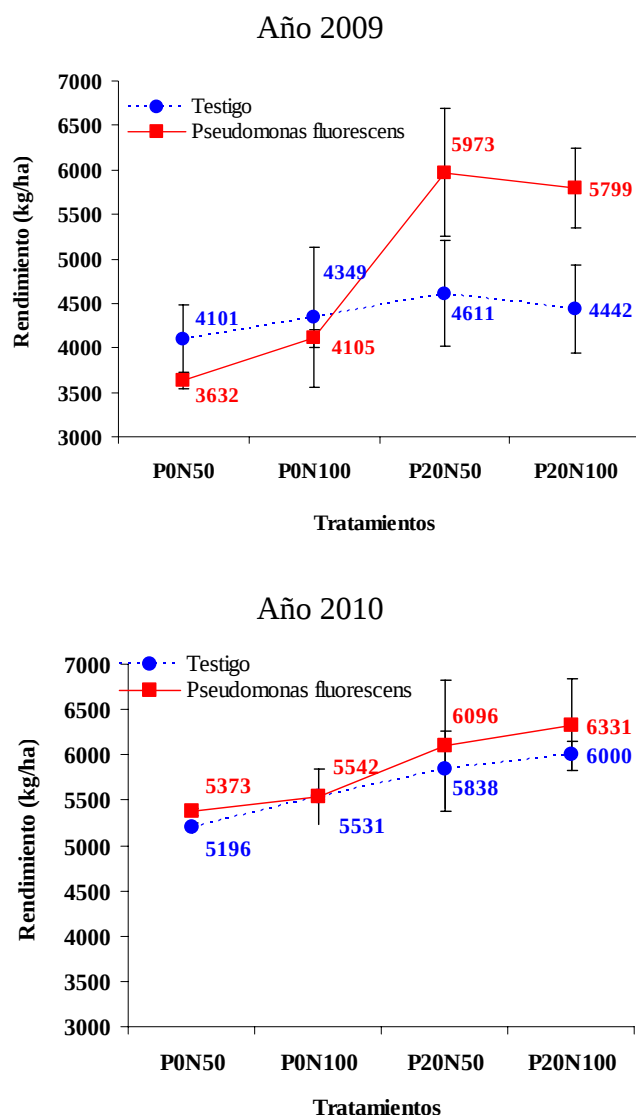


Figura 2: Rendimiento de grano de parcelas testigo o inoculadas con *Rizofos liq* (*Pseudomonas fluorescens*) en cebada cervecera, bajo diferentes niveles de fertilización fósforo-nitrogenada (kg ha⁻¹) aplicados a la siembra. Las barras de error indican la desviación standard de la media. Pergamino, año 2009.

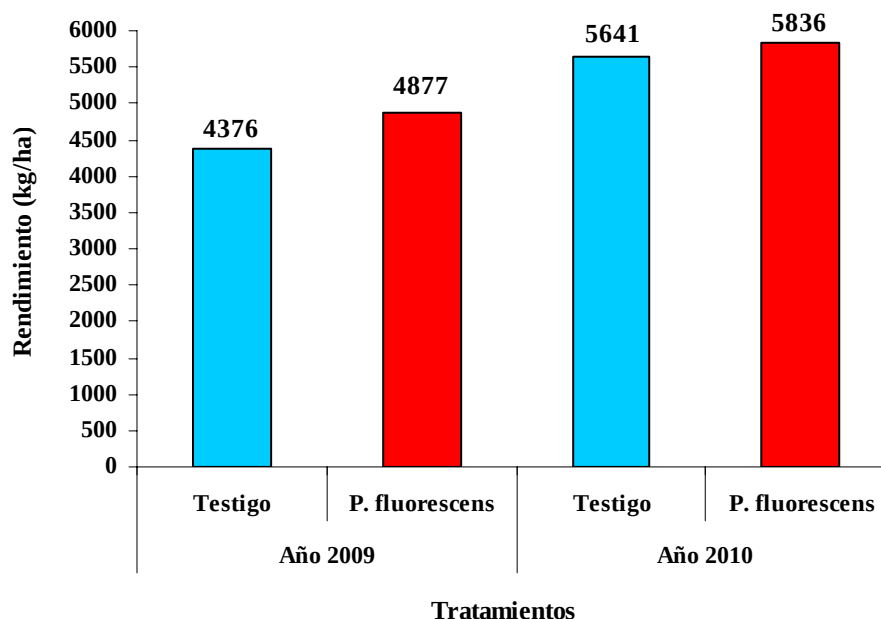


Figura 3: Rendimiento de grano de parcelas testigo o inoculadas con *Pseudomonas fluorescens* en cebada cervecera, promedio de diferentes combinaciones de P (0 y 20 kg ha⁻¹) y N (50 y 100 kg ha⁻¹).

Consideraciones finales

La hipótesis 1 –existe respuesta a la inoculación– es aceptada parcialmente, ya que según nivel de fertilización se obtuvieron diferencias de rendimiento en el rango de -469 a 1361 kg ha⁻¹ durante el año 2009 y entre 11,5 y 330,8 kg ha⁻¹ en 2010 siendo de 348 kg ha⁻¹ la respuesta media, aunque las diferencias no alcanzaron la significancia estadística. La hipótesis 2 –ausencia de interacción entre inoculación y otras prácticas de manejo– aunque fuera confirmada estadísticamente, la respuesta resultó más estable bajo fertilización fosforada, en comparación con los tratamientos no fertilizados.

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, es especial en cultivos con pequeña tasa de crecimiento inicial y cuyo rendimiento es fijado desde etapas tempranas de su desarrollo.

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. y L. Couretot. 2010. Uso de inoculantes con bacterias experimentales PGPB en trigo. Informe de resultados. Campaña 2009/10. 8 pp.
- 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.