

EVALUACIÓN DEL INOCULANTE CRINIGAN EN CEBADA CERVECERA BAJO DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACIÓN FOSFORO-NITROGENADA

Resultados de dos campañas de experimentación

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 ensayo fue 1. Cuantificar el efecto sobre el rendimiento y otras variables de cultivo del inoculante Crinigan, que contiene micorrizas en forma asociada a otros microorganismos 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.

Palabras clave: Cebada cervecera, micorrizas, fertilización, emergencia, biomasa, rendimiento.

Materiales y métodos

Durante dos campañas, se realizó un experimento de campo en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico. En cada experimento se evaluaron diferentes estrategias de uso de un inoculante formulado a partir de micorrizas, otros microorganismos considerados PGPR y microelementos, denominado comercialmente *Crinigan cebada*, en contraste con un testigo. 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 2x4. 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. Crinigan cebada	siembra	8 g kg semilla ⁻¹	F1: P0 N50
			F2: P0 N100
			F3: P20 N50
			F4: P20 N100

Se utilizó una formulación en polvo sobre sustrato dolomita, aplicada luego del humedecimiento previo de la simiente. 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. Para protegerlo de enfermedades foliares como mancha en red y escaldadura, 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 realizaron análisis químicos de suelo por bloque, cuyos resultados promedio se expresan en la Tabla 2.

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

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

Resultados y discusión

A) Características climáticas de la campaña

En 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.a). 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.b).

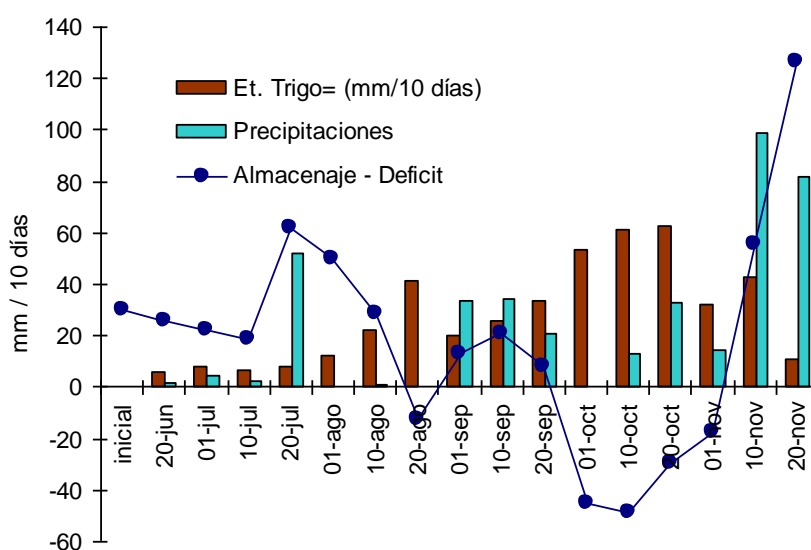


Figura 1.a

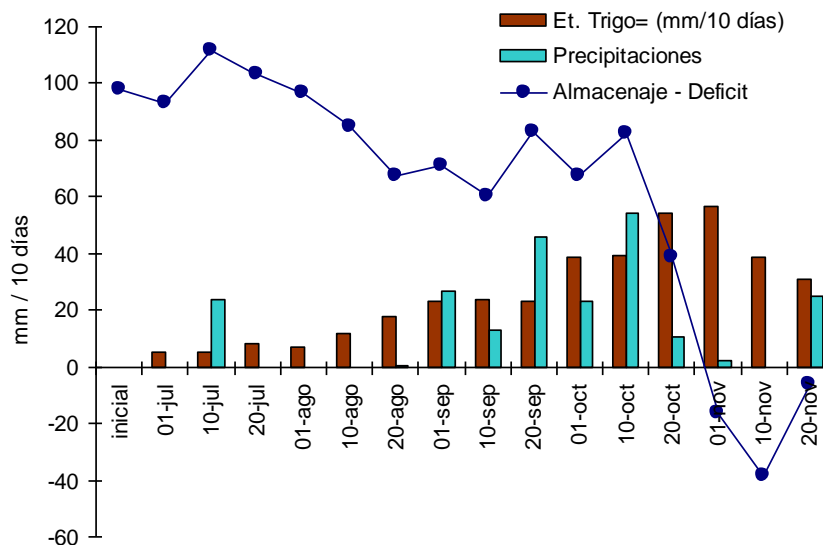


Figura 1.b

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. Localidad de Pergamino, Buenos Aires.

B) Rendimientos del cultivo

En las Tabla 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 Crinigan bajo diferentes niveles de fertilización en cebada cervecera. Pergamino, año 2009.

Tratamientos	Inoculación	Nivel fertilización (kg ha ⁻¹)	Plantas/ m ²	Índice de Vigor Zadoks 39	Mseca Z25 (kg ha ⁻¹)	Mseca Total (kg ha ⁻¹)
I1-F1	Testigo	P0 N50	133	3,8	497	10256
I1-F2	Testigo	P0 N100	130	4,0	298	9569
I1-F3	Testigo	P20 N50	155	3,9	804	10145
I1-F4	Testigo	P20 N100	141	4,1	878	9771
I2-F1	Crinigan	P0 N50	155	4,0	660	8798
I2-F2	Crinigan	P0 N100	222	4,5	490	12257
I2-F3	Crinigan	P20 N50	136	4,3	824	11349
I2-F4	Crinigan	P20 N100	109	4,8	1397	12088

Tratamientos	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	Testigo	P0 N100	4349	+ 248	
I1-F3	Testigo	P20 N50	4611	+ 510	
I1-F4	Testigo	P20 N100	4442	+ 341	
I2-F1	Crinigan	P0 N50	3999		-102
I2-F2	Crinigan	P0 N100	5571	+ 1572	+ 1222
I2-F3	Crinigan	P20 N50	5159	+ 1160	+ 547
I2-F4	Crinigan	P20 N100	5494	+ 1495	+ 1053

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: Número de plantas emergidas, índice de vigor, materia seca acumulada en inicios de encañazón y antesis, Unidades Spad, rendimiento, número (NG) y peso (PG) de grano y significancia estadística de las variables medidas en el ensayo. Inoculación con Crinigan bajo diferentes niveles de fertilización en cebada cervicera. Pergamino, año 2010.

Tratamientos	Inoculación	Nivel fertilización (kg ha ⁻¹)	Plantas/m ²	Índice de Vigor Zadoks 39	Mseca Z31 (kg ha ⁻¹)	Mseca Z65 (kg ha ⁻¹)	Unidades Spad
I1-F1	Testigo	P0 N50	220	3,4	1550	4625	46,5
I1-F2	Testigo	P0 N100	221	3,7	1425	5625	45,6
I1-F3	Testigo	P20 N50	229	3,8	1625	6200	39,1
I1-F4	Testigo	P20 N100	228	4,1	1725	6200	43,5
I2-F1	Crinigan	P0 N50	240	3,4	1438	6525	37,7
I2-F2	Crinigan	P0 N100	221	3,9	1425	6525	44,0
I2-F3	Crinigan	P20 N50	235	3,8	1525	6525	39,0
I2-F4	Crinigan	P20 N100	231	4,1	1713	7688	49,1

Tratamientos	Inoculación	Nivel N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	NG	PG	Diferencia x fertilización (kg ha ⁻¹)	Diferencia x inoculación (kg ha ⁻¹) a isodosis de fertilizante
I1-F1	Testigo	P0 N50	5196,2	11713	44,0		
I1-F2	Testigo	P0 N100	5530,8	14015	41,0	+ 334,6	
I1-F3	Testigo	P20 N50	5838,5	12587	44,0	+ 642,3	
I1-F4	Testigo	P20 N100	5892,3	13703	43,0	+ 696,1	
I2-F1	Crinigan	P0 N50	5438,5	12308	44,0		+ 242,3
I2-F2	Crinigan	P0 N100	5796,2	13735	41,5	+ 358,0	+ 265,4
I2-F3	Crinigan	P20 N50	5834,6	12675	44,0	+ 396,4	- 3,8
I2-F4	Crinigan	P20 N100	6000,0	14390	41,0	+ 561,8	+ 107,7
Inoculación=			0,399				
Fertilización=			0,783				
Interacción Inoc x Dosis N=			0,627				
CV (%)			7,1 %				

Zadoks 31: Un nudo visible; Zadoks 65: Antesis (Zadoks et al., 1974)
 Índice de Vigor: Escala de 1 a 5. 1: Muy bajo vigor 5: Vigor Excelente

Los rendimientos de 2010 fueron superiores a los de la campaña precedente, siendo el promedio del ensayo de 4716 kg ha⁻¹ para 2009 y 5691 kg ha⁻¹ en 2010, respectivamente. En 2009, se determinó efecto estadísticamente significativo de la fertilización sobre la acumulación de materia seca a finales de macollaje (Zadoks 25), cosecha y rendimiento (p<0,05). La inoculación en cambio, incrementó significativamente la producción de materia seca en macollaje (p<0,10). No se observó interacción entre inoculación y fertilización, para ninguna de las variables evaluadas (p>0,10) (Tabla 3). Aún así, la respuesta a la fertilización fue más notable cuando se realizó de manera conjunta con la inoculación (Figura 2.a). Las diferencias entre las parcelas inoculadas y testigo fueron de mayor magnitud en presencia de adecuados niveles de fertilización, especialmente nitrogenada (Tabla 3 y Figura 2.a), alcanzando un máximo de 1222 kg ha⁻¹. Por el contrario, no se determinó respuesta positiva al uso de inoculante para el nivel más bajo de fertilización, P0N50. En oposición a estos resultados, en un ensayo de trigo realizado en la misma localidad y campaña por nuestro grupo de trabajo la respuesta fue de mayor magnitud bajo una dosis de N50 en comparación con N100. Si se compara la respuesta interespecífica, en promedio fue levemente superior es

cebada (680 kg ha^{-1}) (Figura 3) con relación a trigo (355 kg ha^{-1}). De acuerdo a investigaciones recientes, aquel cultivo podría mantener un potencial de respuesta mayor (González Anta, comunicación personal), aunque se ha generado mucho menos información hasta el presente si se compara con los numerosos ensayos realizados en trigo.

En 2010, la inoculación incrementó el número de plantas emergidas, la acumulación de MSeca en antesis y el NG. En cambio, no afectó la producción de MSeca en inicios de encañazón, el vigor ni el PG, mientras que produjo efectos variables sobre los valores de Spad. Los efectos sobre los rendimientos fueron más pronunciados durante el año 2009 (Figura 3), no obstante ello, el segundo año fue de importancia para confirmar la independencia de la respuesta a la inoculación respecto de los tratamientos de fertilización (Figura 2.b). En este segundo experimento, con menores valores de P con relación a su precedente, la respuesta fue de mayor magnitud en ausencia de fertilización fosforada. La respuesta a la fertilización fue asimismo de menor magnitud en este segundo año (Tablas 3 y 4). El ambiente fue tan favorable al cultivo, que hasta mantuvo cierta independencia del nivel tecnológico.

Un análisis conjunto de ambos experimentos permite afirmar la ausencia de interacción inoculación x fertilización en cebada, y la independencia de la respuesta a la inoculación con relación a la oferta de nutrientes suministrada. Esto permite recomendar la práctica en un amplio rango de ambientes de fertilidad y niveles nutricionales.

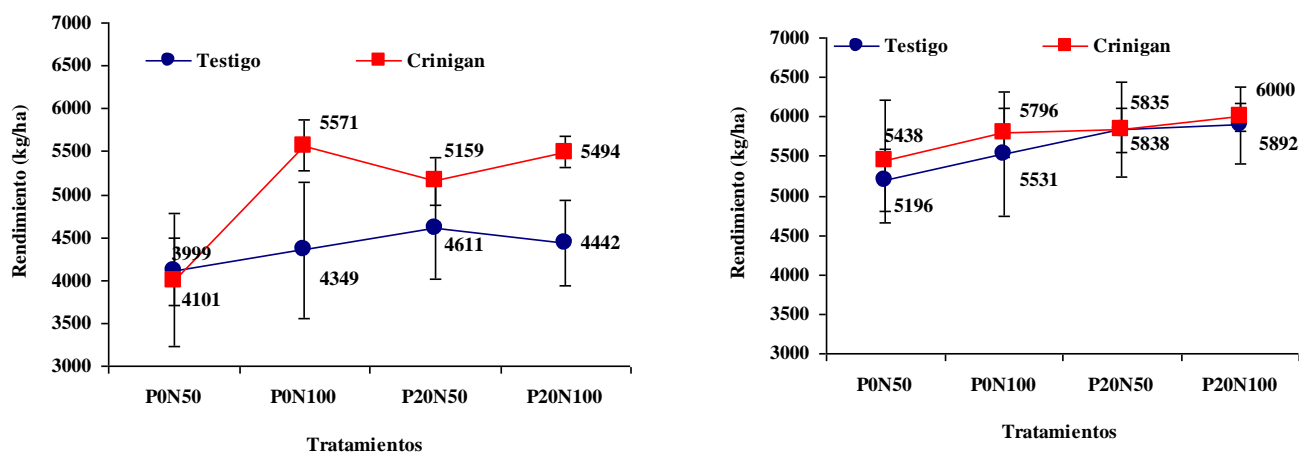


Figura 2: Rendimiento de grano de parcelas testigo o inoculadas con Crinigan cebada, bajo diferentes niveles de fertilización fósforo-nitrogenada (kg ha^{-1}) aplicados a la siembra. Las barras de error indican la desviación standard de la media. Pergamino, años 2009 y 2010.

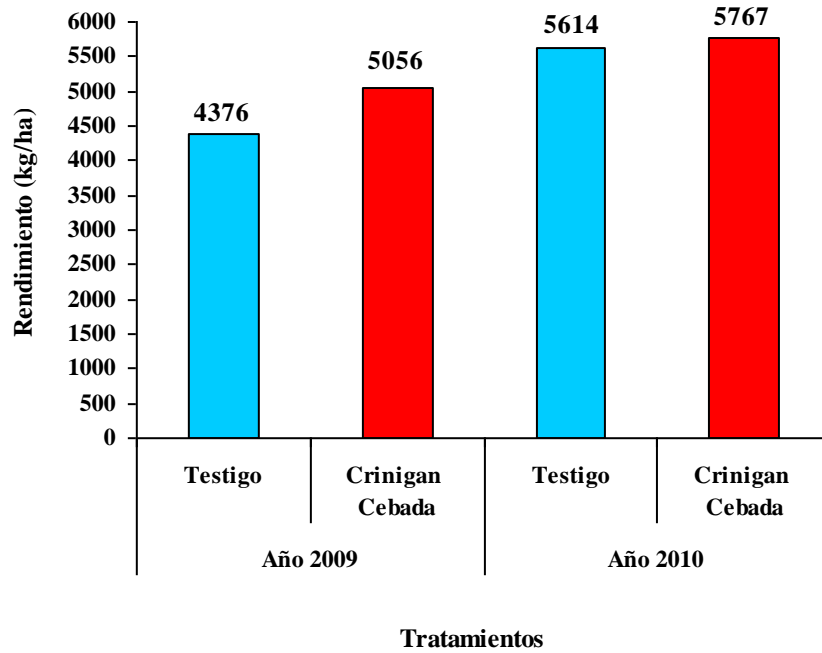


Figura 3: Rendimiento de grano de parcelas testigo o inoculadas con *Crinigan cebada*, promedio de diferentes combinaciones de P (0 y 20 kg ha⁻¹) y N (50 y 100 kg ha⁻¹).

Consideraciones finales

La hipótesis 1 –existe respuesta a la inoculación– es aceptada parcialmente, ya que se obtuvieron diferencias de rendimiento entre -102 a 1222 kg ha⁻¹ según nivel de fertilización y 680 kg ha⁻¹ de respuesta media en 2009, y un rango de -3,8 a 265,4 kg ha⁻¹ con una respuesta media de 153 kg ha⁻¹ en 2010, aunque las diferencias no alcanzaron la significancia estadística. La hipótesis 2 –ausencia de interacción entre inoculación y otras prácticas de manejo– finalmente debe ser aceptada, ya que integrando ambas campañas, se obtuvieron respuestas positivas en todos los niveles de fertilización.

La inoculación de cebada cervecera con microorganismos promotores del crecimiento vegetal se presenta como una práctica favorable con potencialidad de mejorar el establecimiento de las plántulas, 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

- C. Valverde & 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).
- 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. 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. 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.
- Zadoks J.C., T.T. Chang, y C.F. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.

Anexo: Fotografías del ensayo (año 2009).



II: Testigo. F1:Izquierda P0N50. F4:Derecha P20N100 (Z39)



I2: Inoculado Crinigan Cebada. Izquierda F1: P0N50. Derecha F4: P20N100 (Z39)