

Producción de cultivos de trigo inoculados con bacterias promotoras del crecimiento vegetal

Martín Díaz-Zorita, Rafael M. Balaña, María V. Fernández-Canigia, Alejandro Peticari

La actividad biológica y microbiológica de los suelos tiene un papel preponderante en el logro de cultivos de alta producción. Los microorganismos en asociación con cultivos son importantes, tanto tecnológicamente como para la evolución de las especies. Tecnológicamente, como insumos para mejoramiento de producción y el control ambiental, y desde el punto de vista de la evolución de las especies a partir del mantenimiento de la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas (Lynch, 2002; Osinski *et al.*, 2003). El mejoramiento en la calidad de la microflora de suelos agrícolas, a partir de la incorporación de organismos seleccionados por sus funciones en diversos procesos que contribuyen con la implantación, desarrollo y producción de cultivos, es una alternativa que contribuiría al logro de mejores cultivos (Caballero-Mellado *et al.*, 1992).

La rizosfera se caracteriza por presentar una alta concentración de nutrientes en comparación con el resto del suelo, en respuesta a la presencia de compuestos liberados por las plantas (Rovira, 1973). En este ambiente se desarrollan microorganismos en cantidades muy superiores a las encontradas en el resto del suelo, y muchos de ellos presentan características de promoción del crecimiento vegetal que son deseables para el logro de cultivos de alta productividad. Los mecanismos que explicarían las respuestas en desarrollo y producción de los cultivos a la inoculación con rizobacterias pueden ser directos, al favorecer a las plantas mejorando su nivel de nutrición (incluyendo la disponibilidad de agua), al facilitar la disponibilidad de nutrientes, o incrementando la superficie de absorción de las raíces. También, los mecanismos descritos en relación a la actividad de rizobacterias pueden ser indirectos, a través de la interacción con otros microorganismos que faciliten el normal desarrollo de las plantas (Dobbelaere *et al.*, 2003). Algunos de estos microorganismos han sido eficientemente aislados y multiplicados, permitiendo así la formulación de inoculantes para su aplicación en escala de producción (Bashan, 1998).

Entre los microorganismos que son evaluados por su potencial contribución al desarrollo de las plantas se encuentra *Azospirillum brasilense*. Algunos antecedentes muestran efectos en la fijación libre del nitrógeno atmosférico, la producción y liberación de hormonas promotoras del crecimiento radical (ej. auxinas, giberelinas, citoquininas), de enzimas tales como las pectinolíticas, distorsionando la funcionalidad de células de las raíces y el aumento en la producción de exudados promoviendo el crecimiento de otros organismos rizosféricos (Bayan y Levanony, 1990; Okon y Labandera-González, 1994b). En Argentina, a nivel experimental de comparación de cepas, existen antecedentes de mejoras en la producción en grano en la región semiárida con *Azospirillum brasilense* en varios cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) (Rodríguez Cáceres *et al.*, 1996); no obstante, en ensayos de producción, se han observado resultados contradictorios, con ausencia de respuesta en Córdoba (Olmedo *et al.*, 2002) y con respuestas medias de 325 kg ha⁻¹ en Balcarce, Buenos Aires (Cattáneo *et al.*, 1996).

Nitragin Argentina SA, en convenio con el INTA, está desarrollando un inoculante líquido con *Azospirillum brasilense* que fue intensamente evaluado en trigo y otros cultivos. Es objetivo de este artículo presentar los resultados logrados sobre 160 sitios experimentales con cultivos de trigo en la región pampeada, durante las campañas 2002 y 2003.

En cada sitio, los tratamientos consistieron en la siembra de trigo inoculado sobre las semillas en el momento de la siembra, y sin inocular. Se empleó el inoculante con *Azospirillum brasilense* (cepa Az39 del INTA Castelar) provisto por Nitragin Argentina S.A. a razón de hasta 1 litro cada 100 kg de semillas, con un recuento de 1×10^8 ufc/ml al momento de la aplicación, proveyendo más de 2×10^6 bacterias por semilla. La aplicación del inoculante fue independiente y posterior a otros tratamientos de semillas (i.e. curasemillas).

Entre otras evaluaciones, se determinó la biomasa aérea y radical en pleno macollaje (septiembre) y la producción de granos y componentes del rendimiento (número de espigas por unidad de superficie, peso individual de granos y número de granos por espiga) en madurez fisiológica. Los cultivos fueron manejados (fechas y densidad de siembra, tratamientos de semillas, sistemas de labranza, protección, etc.) de acuerdo a condiciones de manejo de cultivos de alta producción en cada una de las regiones bajo evaluación. En la mayoría de los casos, los cultivos se sembraron durante el mes de junio, bajo prácticas de siembra directa, con semillas tratadas previamente con curasemillas, con fertilización fosfatada y nitrogenada y aplicaciones de fungicidas para la prevención de enfermedades durante el desarrollo y formación del rendimiento.

Componentes del rendimiento

En ambas campañas se observó que el tratamiento de inoculación con estas bacterias promotoras del crecimiento vegetal indujo a aumentos en el desarrollo temprano de los cultivos, tanto en su biomasa aérea como radical, resultando en una mayor densidad media de espigas cosechadas. También se observó promoción en el número y peso individual de los granos en respuesta al tratamiento de inoculación, pero en menor magnitud que las propiedades del cultivo definidas en etapas tempranas de su desarrollo (Tabla 1). En la campaña 2002 la inoculación indujo a aumentos del 2,2 % en la cantidad de espigas y del 0,8 % en el peso de los granos, mientras que en la campaña siguiente estos aumentos fueron del 5,4 y del 2,5 %, respectivamente. Estos resultados coinciden con las observaciones de diversos estudios en relación a los efectos de la inoculación con *Azospirillum* que describen la ocurrencia de mejoras en las plantas durante estadios tempranos del desarrollo (Okon y Labandera-González, 1994a).

Tabla 1: Componentes medios del rendimiento y producción de grano en 160 cultivos de trigo según tratamientos de inoculación con *Azospirillum brasilense*

	2002		2003	
	Control	Inoculado	Control	Inoculado
Espigas m⁻²	478	489	444	468
Granos espiga⁻¹	16,8	17,2	31,0	32,6
Peso de granos (mg grano⁻¹)	35,7	36,0	37,6	38,6
Número de granos m⁻²	8160	8469	9668	10150

Producción de grano

En la campaña 2002 los rendimientos variaron entre 1010 y 5487 kg ha⁻¹, mostrando una respuesta positiva al tratamiento de inoculación en el 60 % de los casos. En la campaña 2003 la producción de grano varió entre 850 y 6346 kg ha⁻¹, alcanzando en el 83 % de los casos aumentos asociados a la inoculación. Los niveles de respuesta y cantidad proporcional de sitios con mejoras en rendimientos en cultivos tratados con *Azospirillum*, es coincidente con información analizada a nivel mundial (Okon y Labandera-González, 1994a).

En promedio para las 2 campañas bajo estudio, el tratamiento de las semillas con *Azospirillum brasilense* en el momento de la siembra indujo a aumentos en 236 kg ha⁻¹, equivalente a aproximadamente el 8 % de mejora sobre el control sin inoculación (Tabla 2). La diferencia de rendimientos entre tratamientos no fue uniforme entre las zonas evaluadas, siendo de menor magnitud en el área sudoeste bonaerense, La Pampa y central de Santa Fe, donde durante las 2 campañas bajo

estudio se detectaron condiciones hídricas subóptimas para la normal producción del trigo (Tabla 2). En el caso de Córdoba, sólo se incluyeron los sitios que pudieron ser cosechados dado que los ensayos ubicados en el sector centro sur no alcanzaron hasta la madurez del cultivo dada la severidad de condiciones de sequía.

Tabla 2: Producción de grano de cultivos de trigo según tratamientos de inoculación con *Azospirillum brasilense* en 160 sitios experimentales en la región pampeana durante las campañas 2002 y 2003

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)				
	Casos	Control	Inoculado	Diferencia	P _(x)
Bs.As. (N)	29	3502	3911	409	<0,001
Bs.As. (SE)	17	4225	4613	388	0,060
Bs.As. (Oeste)	38	3068	3287	219	<0,001
Bs.As. (SO)	12	2543	2674	131	0,200
La Pampa	15	3726	3884	158	0,220
Santa Fe	35	3599	3684	84	0,180
Córdoba	9	2893	3239	347	0,040
Entre Ríos	5	3265	3473	208	0,010
Todos	160	3405	3641	236	<0,001
Campaña 2002	52	2913	3049	136	0.02
Campaña 2003	108	3635	3918	284	<0.001

En la medida en que los rendimientos medios de los sitios fueron mayores (ambientes con menor incidencia de factores limitantes de la producción del cultivo), la diferencia entre tratamientos de inoculación, en términos absolutos, también aumentó. Se observó que los cultivos inoculados presentaron una mayor respuesta ($P < 0,002$) al mejoramiento en las condiciones ambientales de producción que aquellos sin este tratamiento. Estos resultados coinciden con otros autores, que encuentran respuestas en suelos donde las normales productividades son medias a altas, mientras que en condiciones adversas, como estrés salino severo, el *Azospirillum* no puede ni siquiera adherirse a la raíz (Jofré et al., 1998).

En los sitios donde se evaluó la interacción entre los tratamientos de inoculación con *Azospirillum brasilense* y prácticas de fertilización, nitrogenada o fosfatada, se observó que el efecto promotor del crecimiento vegetal fue independiente de la aplicación de los tratamientos de fertilización (Fig. 1). Estos resultados refuerzan los supuestos de actividad de promoción global del crecimiento vegetal inducido por las rizobacterias, permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos del ambiente y provistos por la incorporación de prácticas de nutrición de los cultivos (Bashan y Holguin, 1997).

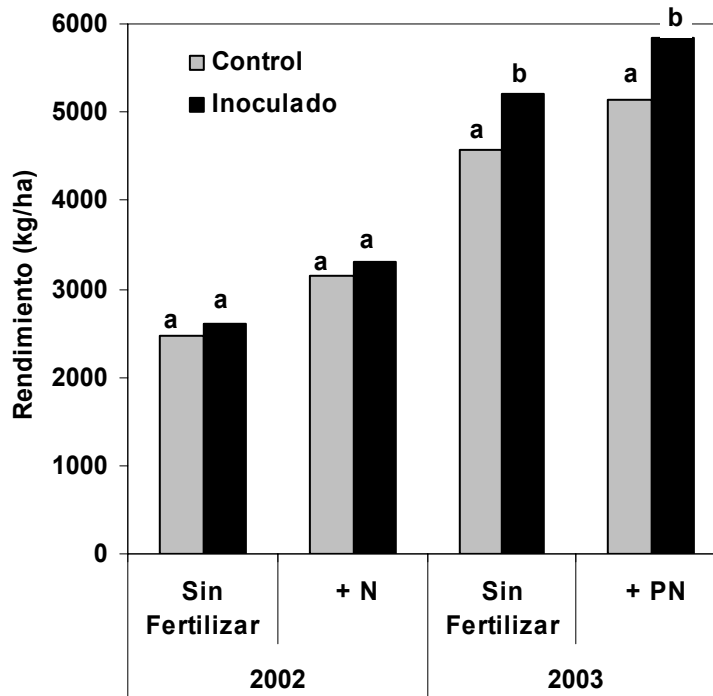


Fig. 1: Producción de grano de trigo según tratamientos de fertilización e inoculación con *Azospirillum brasilense*. Campaña 2002: promedio de 14 sitios. Campaña 2003: promedio de 3 sitios. Letras diferentes sobre cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,10$) entre tratamientos de inoculación para cada tratamiento de fertilización

Estos resultados muestran que el tratamiento de inoculación de semillas de trigo con *Azospirillum brasilense*, es una alternativa factible para mejorar la eficiencia de aprovechamiento recursos que hacen al logro de cultivos de alta producción en ambientes representativos de la región pampeada, y en escala de producción. La contribución de este tratamiento se incrementó en la medida en que los ambientes evaluados mostraron menores limitaciones a la producción del cultivo.

Bibliografía

- Bashan, Y. (1998). Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnol. Adv.*, 16: 729-770.
- Bashan, Y.; holguin, G. (1997). *Azospirillum* - plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). *Can. J. Microbiol.*, 43: 103-121.
- Bashan, Y.; levanony, H. (1990). Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Can. J. Microbiol.*, 36: 591-608.
- Caballero-Mellado, J.; Carcano-Montiel, M. G.; Mascarua-Esparza, M. A. (1992). Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. *Symbiosis*, 13: 243-253.
- Cattáneo, S. H.; Creus, C. M.; Bariffi, H.; Sueldo, R. J.; Barassi, C. A. (1996). Estudios a campo sobre la acción de *Azospirillum* en trigo sometido a estrés hídrico. II. Rendimiento y sus componentes. En: Actas XXI Reunión Nacional de Fisiología Vegetal. Mendoza. Argentina. pág. 296-297.
- Dobbelaere, S.; Vanderleyden, J.; Okon, Y. (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 22: 107-149.
- Jofré, E.; Fischer, S.; Rivarola, V.; Balengo, H.; Mori, G. (1998). Saline stress affects the attachment of *Azospirillum brasilense* Cd to maize and wheat roots. *Can. J. Microbiol.*, 44: 416-422.
- Lynch, J. M. (2002). Resilience of the rhizosphere to anthropogenic disturbance. *Biodegradation*, 13: 21-27.
- Okon, Y.; Labandera-González, C. A. (1994a). Agronomic applications of *Azospirillum*. Improving Plant Productivity with Rhizosphere Bacteria. Proceedings of the Third International Workshop on Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. CSIRO, Adelaide, South Australia. Adelaide, Australia.
- Okon, Y.; Labandera-González, C. A. (1994b). Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol. Biochem.*, 26: 1591-1601.
- Olmedo, C.; Thuar, A.; Rivieri, E.; Avanzini, G. (2002). Efecto de la inoculación con *Azospirillum brasilense* en un cultivo de trigo a campo. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS, Puerto Madryn, Chubut. Argentina. Puerto Madryn, Chubut. Argentina. p. en CD.
- Osinski, E.; Miier, U.; Büchs, W.; Weickel, J.; Matzdorf, B. (2003). Application of biotic indicators for evaluation of sustainable land use - current procedures and future developments. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 98: 407-421.
- Rodríguez Cáceres, E. A.; González Anta, G.; López, J. R.; Di Ciocco, C. A.; Pacheco Basurco, J. C.; Parada, J. L. (1996). Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxa* in the semiarid region of Argentina. *Arid Soil Res. Rehab.*, 10: 13-20.
- Rovira, A. D. (1973). Zones of exudation along plant roots and spatial distribution of micro-organisms in the rhizosphere. *Pestic. Sci.*, 4: 361-366.