

Mejoras del rendimiento de trigo con *Azospirillum argentinense* en la región semiárida pampeana

Gallace, María Eugenia¹  y Díaz-Zorita, Martín^{1,2} 

1 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, La Pampa, Argentina.

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, La Pampa, Argentina.

@ gallace@agro.unlpam.edu.ar

Recibido: 14/04/2025

Aceptado: 26/05/2025

Resumen. La incorporación de microorganismos mejoradores del crecimiento vegetal en cultivos de secano es una práctica agronómica recomendada para reducir la incidencia de limitaciones abióticas en el crecimiento de las plantas. Los estudios sobre su efectividad ante variaciones en las condiciones ambientales durante el desarrollo de cultivos en regiones semiáridas son escasos y no concluyentes. El objetivo de este trabajo fue cuantificar diferencias en componentes numéricos del rendimiento y en la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) según tratamientos de semillas con formulaciones conteniendo *Azospirillum argentinense* Az39 bajo condiciones de cultivo representativas del centro de la región semiárida pampeana. El estudio se realizó durante tres campañas (2020-2022) en siete sitios con Haplustoles énticos y petrocálcicos. En promedio de las 3 campañas, la incorporación de *Azospirillum argentinense* incrementó 8,9 % la producción de granos sobre el control sin tratar. Los aportes de este tratamiento biológico de las semillas se atribuyen a la mayor formación y llenado de granos, fundamentalmente en campañas con moderadas restricciones hídricas al crecimiento desde su siembra e implantación. En el centro de la región semiárida pampeana y bajo condiciones frecuentes de producción de trigo en secano, la inoculación de semillas con *A. argentinense* mejora las condiciones de crecimiento del cultivo logrando mayor producción de granos.

Palabras clave: agricultura de secano; *Triticum aestivum*; tratamiento de semillas; microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

Abstract. Wheat grain yield improvement with *Azospirillum argentinense* in the semi-arid Pampas region. The use of plant growth-promoting microorganisms in rainfed cropping systems is an agronomic strategy aimed at alleviating abiotic stress and enhancing crop performance. However, evidence on their effectiveness under variable environmental conditions in semi-arid regions remains limited. This study evaluated the impact of seed inoculation with *Azospirillum argentinense* Az39 on yield components and grain production in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under representative conditions of the central semi-arid Pampas. Field trials were conducted over three consecutive growing seasons (2020–2022) at seven locations characterized by Entic and Petrocalcic Haplustolls. On average, inoculated treatments achieved an 8.9 % increase in grain yield compared to the non-inoculated control. Yield gains were primarily associated with increased grain number and grain filling, particularly in seasons with moderate water limitations during early crop development. These results support the potential of *A. argentinense* Az39 as a biological input to improve wheat productivity under dryland farming conditions in semi-arid environments.

Key words: dryland agriculture; *Triticum aestivum*; seed treatments, plant growth promoting microorganisms.

INTRODUCCIÓN

El uso de microorganismos mejoradores del crecimiento vegetal, conocidos como PGPM por sus siglas en inglés (Plant Growth Promoting Microorganisms), muestra creciente interés de aplicación en diversos sistemas de producción agropecuaria. Son abundantes los estudios que reportan que, a través de mecanismos de promoción directos e indirectos, estos microorganismos al mejorar el crecimiento de las plantas conducen a aumentos en los rendimientos de los cultivos, mejorando el desarrollo de sistemas sostenibles de producción (Pedraza-Segura et al., 2024; Yaghoubian et al., 2022; Yang et al., 2024). Entre los microorganismos más utilizados se encuentran rizobacterias del género *Azospirillum*. Estos microorganismos, mutualistas, Gram negativas, microaerófilas y no formadoras de esporas mejoran la eficiencia agronómica de las plantas cultivadas a través de diversos modos de acción. Entre las múltiples actividades promotoras del crecimiento se describen su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, de producir fitohormonas y de tolerar diversos estreses ambientales

Cómo citar este trabajo:

Gallace, M. E. y Díaz-Zorita, M. (2025). Mejoras del rendimiento de trigo con *Azospirillum argentinense* en la región semiárida pampeana. *Semiárida*, 35(2), 33-40.

proveyendo de estos beneficios al crecimiento de las plantas aún en condiciones ambientales subóptimas (García et al., 2023; García de Salomone et al., 2010; Kumar et al., 2019; Pereg et al., 2016; Triches da Cunha et al., 2024).

Entre las diferentes especies de *Azospirillum*, la más empleada en la formulación de inoculantes mejoradores del crecimiento vegetal es *Azospirillum argentinense*, anteriormente conocida como *Azospirillum brasilense* y recientemente reclasificada tras diversos estudios genómicos (dos Santos Ferreira et al., 2022). En Argentina, abundantes estudios desarrollados en condiciones extensivas de cultivo muestran mejoras en el crecimiento y en los rendimientos maíz (*Zea mays* L.) y de trigo (*Triticum aestivum* L.) al inocular con la cepa de *Azospirillum argentinense* Az39. En Sudamérica, esta cepa está presente en aproximadamente el 75 % de los inoculantes conteniendo PGPM y es la cepa elegida como referencia y modelo de estudio (Cassán et al., 2020; Maroniche et al., 2024).

La inoculación con PGPM ha demostrado inducir cambios beneficiosos en el crecimiento del trigo (Díaz-Zorita & Fernandez Canigia, 2009; Palmero et al., 2020). En particular, el uso de *Azospirillum* sp. en el tratamiento de semillas mejora la adaptación de las plantas a condiciones de estrés en diversas etapas de su desarrollo. Esto se traduce en un aumento de la biomasa radicular con mayor acceso a recursos y por lo tanto aumento de la biomasa aérea, así como en una mayor producción de granos (Cassan & Díaz-Zorita, 2016; Cassan et al., 2020; Hungría et al., 2010; Okon et al., 2015). Si bien abundan los estudios que muestran los aportes del tratamiento de semillas con *Azospirillum* sp. en diferentes condiciones productivas, la información proveniente de regiones semiáridas es limitada. El centro de la región semiárida pampeana se caracteriza por presentar una estación invernal extensa con escasas precipitaciones y frecuentes balances hídricos negativos. En esta región, el crecimiento y los rendimientos de trigo se encuentran directa y estrechamente relacionados con la disponibilidad de agua en el momento de la siembra (Alvarez et al., 2020) y su eficiencia de uso normalmente limitada por la oferta de nutrientes (Gagioli et al., 2020). Al incorporar azospirilos en la rizosfera de las plántulas se mejoran las condiciones iniciales de crecimiento que se manifiesta en mayor exploración de raíces con menores limitaciones en el acceso al agua y a los nutrientes. La magnitud y consistencia de estas mejoras de crecimiento inicial sobre los rendimientos variarían según las condiciones ambientales durante el ciclo del cultivo, principalmente durante la formación y llenado de los granos. El propósito de este estudio es cuantificar, en un sitio representativo del centro de la región semiárida pampeana y en condiciones diversas de crecimiento, las diferencias en los componentes numéricos del rendimiento y en la producción de trigo al aplicar un tratamiento de semillas conteniendo una formulación líquida con *Azospirillum argentinense*.

METODOLOGÍA

Caracterización del sitio experimental

El estudio se desarrolló durante las campañas 2020, 2021 y 2022 en 7 sitios cultivados con trigo ubicados en el campo de enseñanza de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa (FA UNLPam) (36°32'49" S; 64°18'20" W) aledaño a la ciudad de Santa Rosa, La Pampa, Argentina. La conducción de los cultivos (Tabla 1) fue en secano sembrando materiales de alta productividad adaptados a las condiciones ambientales predominantes en la región, con la aplicación de fosfato diamónico (18:46:0) y urea (46:0:0) para evitar limitaciones nutricionales y se mantuvieron libres de malezas, plagas y enfermedades durante todo su desarrollo.

Los suelos fueron clasificados como Haplustoles énticos y petrocálcicos con textura superficial franco-arenosa y presencia de un manto de tosca en profundidades variables entre 0,80 y 1,20 m (Tabla 2). La Tabla 3 muestra las temperaturas medias mensuales durante entre 2020 y 2023 y en la figura 1 se presentan las precipitaciones registradas en la estación agrometeorológica de la FA UNLPam ubicada a menos de 2000 m de los sitios experimentales.

Tabla 1. Materiales de trigo cultivados y resumen de prácticas de manejo de los ensayos. FDA: fosfato diamónico.**Table 1.** Cultivated wheat materials and summary of trial management practices. FDA: diammonium phosphate.

Sitio	Lote	Campaña	Variedad	Fecha de siembra	FDA (kg ha ⁻¹)	Urea (kg ha ⁻¹)
1	CE	2020	ADM Ñandubay	23/6/2020	300	200
2	CE	2021	ADM Ñandubay	15/6/2021	150	166
3	CE	2021	ADM Audaz	15/6/2021	150	166
4	CE	2022	ADM Catalpa	16/6/2022	75	187
5	CE	2022	ADM Pehuén	16/6/2022	75	187
6	T	2022	ADM Catalpa	17/6/2022	75	187
7	T	2022	ADM Pehuén	17/6/2022	75	187

Tabla 2. Propiedades edáficas de la capa de 0 a 20 cm de profundidad de 2 lotes del campo de enseñanza de la FA UNLPam, Santa Rosa (La Pampa, Argentina). CIC: Capacidad de intercambio catiónico, MO: materia orgánica, Pe: Fósforo extractable (método de Bray Kurtz 1), Zn: Zinc extractable con DTPA.**Table 2.** Soil properties of the 0 to 20 cm layer in 2 fields of FA UNLPam, Santa Rosa (La Pampa, Argentina). CIC Cation exchange capacity; MO: Organic matter; Nt: Total Nitrogen, Pe: Extractable phosphorus (Bray Kurtz 1 method); Zn: DTPA-extractable zinc.

Lote	Arena	Limo (%)	Arcilla	CIC (meq 100 g ⁻¹)	MO (%)	Nt	Pe (mg kg ⁻¹)	Zn	pH en agua
CE	62	33	5	12,1	1,4	0,07	13,3	0,6	6
T	58	36	6	11,6	1,5	0,08	16,5	0,7	6,6

Tabla 3. Promedios mensuales de temperaturas (°C) mínimas, máximas y medias del aire en abrigo meteorológico a 1,5 m en los años del estudio e históricas (período 1977-2017, Vergara et al. 2022) registradas en la estación agrometeorológica de la FA UNLPam. Min.: temperatura mínima; Max.: temperatura máxima.**Table 3.** Monthly averages of minimum, maximum, and mean air temperatures (°C) in a meteorological shelter at 1.5 m during the study years and historical records (1977-2017, Vergara et al. 2022) from the FA UNLPam agrometeorological station. Min.: Minimum temperature; Max.: Maximum temperature.

	2020			2021			2022			Históricas		
	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media
Enero	9,7	37,2	23,6	7,4	36,8	22,3	7,1	41,7	24,1	15,6	30,2	23,3
Febrero	7,3	36,3	22,1	7,1	35,9	21,7	5,3	38,4	21,2	14,1	29,2	22
Marzo	7,9	36,9	21,6	15,1	36	19,7	10,2	31,9	20,1	12,6	26,1	19,6
Abril	1,1	28,9	15,7	3,9	30,3	17,3	-0,4	32,5	14,7	8,7	21,8	15,4
Mayo	1,9	21,1	12,4	-0,9	24,2	11,1	7,2	27,2	9,4	5,2	17,5	11,5
Junio	-3,3	22,6	8	-4,8	23,3	7,7	-5,8	21,1	7	2,1	14,3	8,2
Julio	-6,2	19,4	6,7	-5	22,8	7,5	-3,7	22,5	7,9	1,5	13,9	7,8
Agosto	-6,7	22,1	9,5	-2,2	29,5	10,6	-4,7	23,9	9,9	2,7	16,6	9,8
Septiembre	-0,3	29,7	12,8	0,6	28,6	13	-1,2	28,6	13	5	19,2	12,4
Octubre	0,4	34,6	15,3	0,6	38	16,4	-0,1	30,9	15,6	8,7	22,3	15,9
Noviembre	8,3	36,3	20,9	3,8	34,4	18,6	13,5	28,3	21,4	11,5	26	19,2
Diciembre	7,4	40,2	23,1	8,9	36,8	22,3	14,8	33	24,4	14,5	29,1	22,1

Diseño y tratamientos experimentales

En cada campaña y lote de estudio, los tratamientos se dispusieron en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos incluyeron un control sin inoculación y un tratamiento inoculado con una formulación líquida conteniendo *Azospirillum argentinense* Az39 a razón de 10 ml kg⁻¹ de semillas. Esta formulación fue elaborada por Novozymes (Pilar, Buenos Aires, Argentina) conteniendo más de 1,0 x10⁷ UFC ml⁻¹. En el tratamiento control, se agregó 10 ml de agua destilada. Cada unidad experimental consistió en la siembra de 265 semillas m⁻² en surcos a 0,21 m de distancia entre hileras en parcelas de 9 m² (1,50 m de ancho x 6 m de longitud).

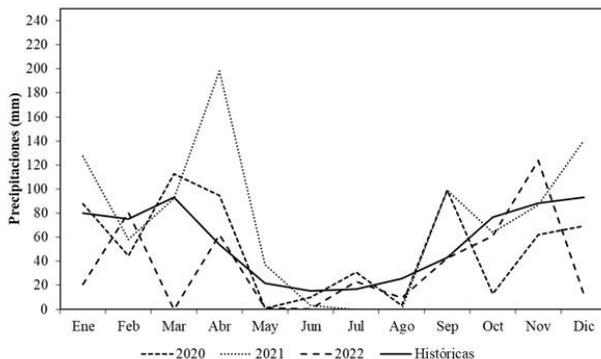


Figura 1. Precipitaciones mensuales en los años del estudio e históricas (periodo 1977-2017, Vergara et al., 2022) registradas en la Estación Agrometeorológica de la FA UNLPam.

Figure 1. Monthly rainfalls during the study years and historical records (1977-2017, Vergara et al., 2022) from the FA UNLPam Agrometeorological Station.

Muestras y análisis

Para evaluar los componentes del rendimiento y la producción de granos, en el estadio de madurez fisiológica, se cosecharon y trillaron manualmente plantas de un área de 0,42 m² (1 m de longitud en 2 surcos centrales de cada parcela). Se determinó el peso individual de los granos y la producción total (rendimiento) corregido a 14 % de humedad de granos. El número de granos por unidad de superficie se estimó mediante el cociente entre el rendimiento y el peso individual de los granos.

Análisis de datos

Para los propósitos de este estudio de describir cambios en los componentes del rendimiento de trigo y en su producción de grano según la incorporación del tratamiento biológico de semillas, el análisis inicial de las evaluaciones contempló un diseño en bloques completos con 7 sitios (combinación de lote, variedad y campaña y un análisis de varianza (ANAVA) de un factor (tratamiento de semillas). La comparación de medias entre tratamientos se realizó utilizando la prueba de LSD de Fisher. Para todos los análisis estadísticos, se empleó el programa InfoStat (Di Rienzo, 2020). Adicionalmente, se evaluó relaciones lineales (regresiones) y la compararon los parámetros del ajuste lineal entre los rendimientos medios del tratamiento de semillas y la productividad media de cada sitio o índice ambiental.

RESULTADOS

Producción de granos

Los rendimientos de trigo variaron entre 1149 y 5936 kg ha⁻¹ mostrando diferencias en promedio 8,9 % mayor producción media de granos con la aplicación del tratamiento de semillas con *Azospirillum argentinense* (Tabla 4). Entre los diferentes casos estudiados, la mayor producción se alcanzó en la campaña 2021 superando los rendimientos medios frecuentes en la región. En las campañas 2020 y 2022 la productividad media en todos los casos fue próxima a los rendimientos medios en el área bajo estudio (Ministerio de Economía, 2024). Del análisis de la relación entre los rendimientos de los tratamientos evaluados y la producción media en cada caso de estudio se observó que las pendientes de los modelos de regresión no mostraron diferencias entre los cultivos control sin inoculación y los tratados con *Azospirillum argentinense* ($p < 0,07$) (Figura 2). Por lo tanto, en la medida que aumentaron los rendimientos, menor frecuencia de limitaciones al crecimiento y producción del cultivo, la contribución relativa del tratamiento biológico se redujo.

Los cambios en producción entre los tratamientos se explicaron principalmente por mayor formación de granos en los cultivos con aplicación del tratamiento con *Azospirillum argentinense*

que en promedio fue del 7,5 % sobre el control sin tratar (Tabla 4). El efecto del tratamiento de las semillas con este microorganismo no mostró diferencias significativas en el peso individual de los granos (Tabla 4).

Tabla 4. Componentes del rendimiento y producción de trigo según tratamientos de semillas con *Azospirillum argentinense* en el centro de la región semiárida pampeana. p(x): significancia de la diferencia entre los tratamientos de semillas. NS: diferencias no significativas entre las medias.

Table 4. Wheat grain yield components and production with *Azospirillum argentinense* treated seeds in the central part of the semi-arid pampas region. p(x): significance level of the comparison of the means. NS: non significant differences between the means.

Sitio	Granos m ⁻²		Peso del grano (mg grano ⁻¹)		Rendimiento (kg ha ⁻¹)		Respuesta (%)
	Sin tratar	Tratado	Sin tratar	Tratado	Sin tratar	Tratado	
1	8.920	11.161	19,0	17,7	1.694	1.970	16,3
2	18.931	18.729	31,6	31,8	5.936	5.945	0,2
3	20.346	21.331	26,8	27,3	5.412	5.788	6,9
4	5.009	5.946	26,2	27,6	1.313	1.661	26,5
5	5.196	5.404	28,9	29,5	1.507	1.625	7,8
6	4.463	4.905	25,8	25,9	1.149	1.274	10,9
7	4.631	4.221	31,1	31,8	1.440	1.347	-6,5
Prom.	9.642	10.243	27,0	27,4	2.636	2.802	8,9
p(x)		0,04		NS		0,04	

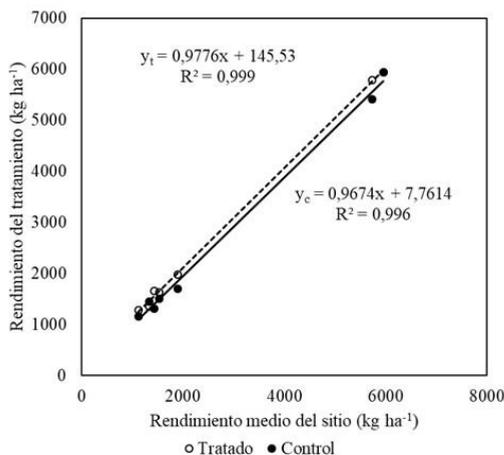


Figura 2. Producción de trigo según tratamientos de semillas con una formulación líquida conteniendo *Azospirillum argentinense* en 7 casos del centro de la región semiárida pampeana.

Figure 2. Wheat production according to seed treatment in 7 cases in the center of the semi-arid Pampas region.

DISCUSIÓN

En las condiciones de este estudio, el tratamiento de semillas con la formulación líquida conteniendo *Azospirillum argentinense* incrementó la producción de granos de trigo, fundamentalmente al aumentar la formación de granos, donde pudimos analizar que la contribución de la aplicación de este microorganismo en los tratamientos de semillas mejoró los rendimientos de trigo independientemente de la productividad media de cada caso de cultivo. La mejora en rendimientos supera al 6 % promedio de aumento de producción de trigo descrito por Díaz-Zorita (2019) proveniente de la evaluación, en un total de 15 campañas, de 617 casos en condiciones extensivas de manejo en la región pampeana. En contraposición, Di Salvo et al. (2018), al analizar la contribución de las cepas 40M y 42M de *Azospirillum brasilense* en Villa Moll (Navarro, Buenos Aires, Argentina), no observaron aportes al crecimiento medidos en producción total de biomasa o

de granos de trigo. Según Castillo (2020), las respuestas del trigo a la aplicación de este microorganismo mejoran la formación de los componentes del rendimiento y la producción del trigo en combinación con la fertilización nitrogenada. Otros documentos también validan lo observado en estos estudios (Díaz-Zorita et al., 2015; García de Salamone, 2012; Naiman et al., 2009) destacando que la adecuada disponibilidad de nutrientes y la utilización de la cepa Az39 son requeridos para el estudio de la eficacia agronómica del tratamiento con este microorganismo.

Las mejoras en la condición de crecimiento inicial de los cultivos condujeron a una mayor formación de granos sin modificar significativamente el peso individual de los granos. Sinclair & Jamieson (2006), entre otros autores, indican que las variaciones en el número de granos y en rendimientos de trigo se atribuyen a variaciones en la acumulación de recursos por el cultivo, por ejemplo, nitrógeno. En nuestros estudios, aun ante mayor número de granos, el peso individual de estos no se redujo, por lo que interpretamos que los aportes positivos al crecimiento ante la incorporación de *Azospirillum argentinense* en el tratamiento de las semillas se mantuvieron durante estadios de llenado de los granos. Este comportamiento se explicaría por una mayor biomasa inicial producto del mejor crecimiento vegetativo y también por el mantenimiento durante más tiempo de la actividad fotosintéticamente activa durante el llenado de los granos. Dada la compensación natural entre el peso individual de los granos y el número de granos producidos, al aumentar la formación de estos su peso medio tiende a disminuir en respuesta limitaciones en la disponibilidad de recursos durante el llenado de los granos (Acreche & Slafer, 2006). Díaz-Zorita & Fernández Canigia (2009), entre otros autores, describieron que, en condiciones de producción de secano, la incorporación de *Azospirillum argentinense* en tratamientos de semillas de trigo incrementa consistentemente la producción inicial de biomasa del cultivo. García et al. (2016) en un estudio desarrollado en Balcarce (Buenos Aires, Argentina), describieron 15 % más espigas formadas al inocular las semillas de trigo con *Azospirillum* sp., sin cambios significativo en el peso individual de los granos. La mayor duración del área fotosintéticamente activa en cultivos desarrollados a partir de semillas con tratamientos biológicos, entre los que se encontraban formulaciones conteniendo azospirilos, fue descrita por Gallace et al. (2021) en condiciones de manejo y ambientales similares a las de este estudio. Fukami et al. (2018), entre otros autores, describen que la incorporación de azospirilos reduce el estrés oxidativo de las plantas tratadas y les confiere mejor comportamiento frente a condiciones de estrés abiótico durante su ciclo de crecimiento. Por otra parte, Ghosh et al. (2019), reportan que la producción de exopolisacáridos por *Azospirillum* sp. bajo condiciones de estrés osmótico beneficia no solo a las rizobacterias, sino también a las plantas, ya que generan cambios en la relación suelo/raíz que permiten que un aumento de su sistema radicular, lo que lleva a una mejora en la absorción de agua y nutrientes y, por lo tanto, del crecimiento inicial de las plantas.

Las campañas estudiadas mostraron diferentes y contrastantes condiciones de balance hídrico aparente durante el desarrollo de los cultivos que de su combinación se interpreta parcialmente la variabilidad en las respuestas de los cultivos a la inoculación con *Azospirillum argentinense* (Tabla 5). Las mayores respuestas medias a la inoculación (16,3 % sobre el control sin tratar) se observaron en los ensayos instalados en el 2020. Esta campaña se caracterizó por presentar con escasas precipitaciones durante el barbecho e implantación de los cultivos, pero con abundantes precipitaciones durante pleno macollaje y previo a la antesis. Como resultado de la mejor condición de crecimiento vegetativo ante condiciones de estrés ambiental los cultivos mostraron en promedio 25 % de aumento en la formación de los granos y sin cambios en el peso individual de estos. En cambio, durante el 2021, bajo condiciones de abundantes precipitaciones durante el barbecho-implantación y el macollaje de los cultivos las respuestas a la inoculación fueron las menores (3,6 %). En la campaña 2022, caracterizada por limitaciones hídricas en la siembra y durante el macollaje y antesis, los cultivos inoculados mejoraron moderadamente la formación de granos alcanzando respuestas medias en producción del 9,2 %. Estos resultados contribuyen a validar la importancia de mejorar las condiciones de crecimiento inicial del trigo para la formación de los granos ante frecuentes restricciones principalmente asociadas a limitaciones en la disponibilidad de

agua en estadios vegetativos. Ante condiciones no restrictivas del crecimiento la contribución a la formación de granos y su llenado son de menor magnitud y se reduce la contribución relativa de la incorporación de este microorganismo.

Campaña	Siembra-inicio de macollaje	Elongación de tallos- Antesis
2020	Negativo	Neutro a positivo
2021	Neutro a positivo	Neutro a positivo
2022	Negativo	Negativo

Tabla 5. Condiciones aparentes de balance hídrico durante etapas clave del desarrollo del trigo en tres campañas agrícolas (Santa Rosa, La Pampa).

Table 5. Scheme of apparent water balance conditions during key stages of wheat development over three growing seasons (Santa Rosa, La Pampa).

CONCLUSIONES

En el centro de la región semiárida pampeana y bajo condiciones frecuentes de producción de trigo en seco, la inoculación de semillas con *Azospirillum argentinense* mejora las condiciones de crecimiento del cultivo logrando mayor producción de granos. Los aportes de este microorganismo mejorador del crecimiento vegetal se explican por mayor formación y llenado de granos fundamentalmente en campañas con restricciones al crecimiento desde su siembra e implantación.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía de la UNLPam y al equipo de trabajo “Grupo Producir en Semiárida” de la FA UNLPam por el financiamiento parcial de los estudios y en su conducción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acreche, M. M., & Slafer, G. A. (2006). Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. *Field Crops Research*, 98, 52-59.
- Álvarez, C. O. (2020). La importancia del agua para producir trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Notas Agrícolas Pampeanas*, 1, 7-8.
- Cassán, F., & Díaz-Zorita, M. (2016). *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 117-130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nievas, S., Le Noir de Carlan, C., Donadio, F., Torres, D., Rosas, S., Olivera Pedrosa, F., de Souza, E., Díaz-Zorita, M., Bashan, L., & Mora, V. (2020). Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 461-479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>
- Castillo, J. M. (2020). Evaluación de la aplicación conjunta de dosis recomendadas y reducidas de *Azospirillum brasilense* Az 39 INTA y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y margen bruto en trigo (*Triticum aestivum* L.). [Trabajo Final de Aplicación], Universidad Nacional de Luján, Argentina. <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/962>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2020). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Di Salvo, L. P., Ferrando, L., Fernández-Scavino, A., & García de Salomone, I. (2018). Microorganisms reveal what plants do not: Wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. *Plant and Soil*, 424, 405-417. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3548-7>
- Díaz-Zorita, M. (2019). Aprendizajes de respuestas de cultivos a la inoculación con *Azospirillum* spp. en condiciones extensivas. JOBMAS 2019. INTA-UNLZ-IIPAAS. 25-26 de abril de 2019. Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.
- Díaz-Zorita, M., & Fernández-Canigia, M. V. (2009). Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *European Journal of Soil Biology*, 45, 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.07.001>
- Díaz-Zorita, M., Fernández-Canigia, M. V., Bravo, O. Á., Berger, A., & Satorre, E. H. (2015). Field evaluation of extensive crops inoculated with *Azospirillum* sp. En F. Cassán, Y. Okon, & C. Creus (Eds.), *Handbook for Azospirillum* (pp. 1-15). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7_24
- dos Santos Ferreira, N., Coniglio, A., Puento, M., Sant'Anna, F. H., Maroniche, G., García, J., Molina, R., Nievas, S., Gazolla Volpiano, C., Ambrosini, A., Passaglia, L. M. P., Pedraza, R. O., Massena Reis, V., Jerri Édson Zill, J. E., & Cassan, F. (2022). Genome-based reclassification of *Azospirillum brasilense* Az39 as the type strain of *Azospirillum argentinense* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 72, 005475. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005475>

- Fukami, J., Cerezini, P. & Hungria, M. (2018). *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 8, 73. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>
- Gallace, E., Dalmasso, L., & Díaz-Zorita, M. (2021). Estimulantes y microorganismos mejoradores del crecimiento aplicados en tratamientos de semillas de trigo. *Notas Agrícolas Pampeanas*, 3, 25-27.
- García de Salamone, I. E., Di Salvo, L. P., Escobar Ortega, J. S., Boa Sorte, P. M., Urquiaga, S., & Teixeira, K. R. (2010). Field response of rice paddy crop to *Azospirillum* inoculation: Physiology of rhizosphere bacterial communities and the genetic diversity of endophytic bacteria in different parts of the plants. *Plant and Soil*, 336, 351-362. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0445-5>
- García de Salamone, I. E., Funes, J. M., Di Salvo, L. P., Escobar Ortega, J. S., Auria, F., Ferrando, L., & Fernández Scavino, A. (2012). Inoculation of paddy rice with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact of plant genotypes on the rhizosphere microbial communities and field crop production. *Applied Soil Ecology*, 61, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.12.012>
- García, J. E., Puente, M. L., Maroniche, G. A., & Peticari, A. (2016). Estudio de *Azospirillum* como tecnología aplicable en los cultivos de trigo y maíz. En *Microbiología Agrícola. Un aporte de la investigación en Argentina* (Segunda ed., Capítulo 20). Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Magna Publicaciones.
- Ghosh, D., Gupta, A. & Mohapatra, S. A comparative analysis of exopolysaccharide and phytohormone secretions by four drought-tolerant rhizobacterial strains and their impact on osmotic-stress mitigation in *Arabidopsis thaliana*. *World J Microbiol Biotechnol*, 35, 90 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2659-0>
- Kumar, J. S., Patel, V. S., Meena, P. S., & Ramteke, P. W. (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria: Strategies to improve abiotic stresses under sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11-12), 1402-1415. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1616757>
- Naiman, A. D., Latrónico, A., & García de Salamone, I. E. (2009). Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology*, 45, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.11.001>
- Okon, Y. C., Labandera-Gonzales, C., Lage, M., & Lage, P. (2015). Agronomic applications of *Azospirillum* and other PGPR. En F. J. de Bruijn (Ed.), *Biological nitrogen fixation* (Vol. 2, pp. 925-936). John Wiley & Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119053095>
- Okon, Y., & Labandera-González, C. A. (1994). Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 1591-1601. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5)
- Palmero, F., Hang, S. B., Lucini, E. I., Bigattón, E. D., Davidenco, V., & Díaz-Zorita, M. (2020). Modificaciones en el crecimiento temprano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en presencia de *Azospirillum brasilense* y de *Pseudomonas psychrophila*. *AgriScientia*, 37, 53-62. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n1.27564>
- Pedraza-Segura L, C. A., Gutiérrez, K. G. Maldonado-Ruiz-Esparza, I. R., & Quevedo, I. R. (2024). Plant growth-promoting microorganisms (PGPMs): A path to sustainable agriculture and ecosystem restoration. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95486-0.00094-6>
- Pereg, L., de-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2016). Assessment of affinity and specificity of *Azospirillum* for plants. *Plant and Soil*, 399, 389-414. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2778-9>
- Sinclair, T. R., & Jamieson, P. D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crops Research*, 98, 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.006>
- Vergara, G., Casagrande, G., & Mendez, M. J. (2022). Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Periodo 1977-2021. *Semiárida*, 32(Supl. 1), 7-41. <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/semiaria/article/view/6559/7773>
- Yaghoubian, I., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Smith, D. L. (2022). Plant growth promoting microorganisms (PGPM) as an eco-friendly option to mitigate water deficit in soybean (*Glycine max* L.): Growth, physio-biochemical properties and oil content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 191, 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.09.013>
- Yang, P., Condrich, A., Scranton, S., Hebner, C., Lu, L., & Ali, M. A. (2024). Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to advance sustainable agriculture. *Bacteria*, 3(4), 434-451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>