



“FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE TRIGO TRATADO CON MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRECIMIENTO”

“Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo”

Autores:

CERVERA ACHUR, Juan Cruz

VELASCO, Agustina

Director: Martín DIAZ-ZORITA - Cereales y Oleaginosas

Codirector: María Eugenia GALLACE - Microbiología Agrícola.

Evaluadores: Dalmasso, Lucas Pablo - Cereales y Oleaginosas / Microbiología Agrícola

Reinhart, Luciano - Fisiología Vegetal

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa (La Pampa) – Argentina 2023

Índice

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
PALABRAS CLAVES	4
KEYS WORDS	4
INTRODUCCIÓN.....	5
HIPÓTESIS.....	9
OBJETIVO.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
Características de los sitios experimentales.....	9
Caracterización agroclimática	10
Diseño del estudio	12
Determinaciones	13
Análisis de datos.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Producción de granos.....	14
Componentes numéricos de los rendimientos	16
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	21

RESUMEN

Los bioinsumos son productos constituidos por microorganismos, macroorganismos, extractos de plantas y compuestos derivados de origen biológico o natural, destinados a aplicarse como insumos en la producción agropecuaria. En trigo se reconocen mejoras y cambios en el crecimiento de las plantas en presencia de PGPM (microorganismos promotores del crecimiento vegetal por sus siglas en inglés) y como resultado de su aplicación en formulaciones de bioinsumos. El objetivo de este trabajo fue cuantificar diferencias en componentes numéricos del rendimiento y en la producción de trigo según tratamientos de semillas con formulaciones conteniendo *Azospirillum argentinense* y *Bacillus simplex* bajo condiciones de cultivo representativas del centro de la región semiárida pampeana. Se realizaron ensayos a campo durante las campañas 2020, 2021 y 2022. Se determinó el rendimiento y componentes numéricos del rendimiento de trigo. Se concluyó que, en las condiciones de estos estudios, la respuesta del trigo a la aplicación de bioinsumos conteniendo microorganismos promotores del crecimiento no es independiente del microorganismo considerado. La aplicación de un tratamiento de semillas conteniendo *Azospirillum argentinense* Az39 mejora los rendimientos con respuestas medias de 9 % superiores al control sin tratar y explicados principalmente por mayor cantidad de granos cosechables.

ABSTRACT

Biological products are products made up of microorganisms, macroorganisms, plant extracts and compounds derived from biological or natural origin, intended to be applied as inputs in agricultural production. In wheat, improvements and changes in plant growth are recognized in the presence of PGPM and as a result of its application in biological products formulations. The objective of this work was to quantify differences in numerical components of yield and wheat production according to seed treatments with formulations containing *Azospirillum argentinense* and *Bacillus simplex* under representative growing conditions of the center of the semi-arid Pampas region. Field trials were carried out during the 2020, 2021 and 2022 campaigns. The yield and numerical components of wheat yield were determined. It was concluded that, under the conditions of these studies, the response of wheat to the application of biological products containing growth-promoting microorganisms is not independent of the microorganism considered. The application of a seed treatment containing *Azospirillum argentinense* Az39 improves yields with average responses 9% higher than the untreated control and mainly explained by a greater amount of harvestable grains.

PALABRAS CLAVES

PGPM, tratamientos de semillas, agricultura de secano, bioinsumos

KEYS WORDS

PGPM, seed treatments, dryland agriculture, biological products

INTRODUCCIÓN

Los bioinsumos son definidos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) de la Nación como productos constituidos por microorganismos (hongos, bacterias, protozoos, virus), macroorganismos (ácaros, artrópodos, nematodos), extractos de plantas y compuestos derivados de origen biológico o natural, destinados a aplicarse como insumos en la producción agropecuaria, agroalimentaria, agroindustrial, agroenergética e incluso en el saneamiento ambiental (Starobinsky *et al.* 2021). Los mismos son aplicados con fines nutricionales, de estimulación vegetal, y de protección de los cultivos (RESOL-1004-APN-PRES#SENASA). Aquellos que estimulan el crecimiento vegetal son definidos por Castro y Vieira (2001) como sustancias naturales o sintéticas que aplicados directamente a las plantas o sobre las semillas o las hojas regulan su crecimiento provocando cambios en los procesos vitales y estructurales, con el fin de aumentar la producción, mejorar la calidad y facilitar la cosecha.

Los bioestimulantes están compuestos por sustancias como hormonas vegetales, macro y micronutrientes, aminoácidos, proteínas y microorganismos (Calvo *et al.* (2014). En particular, los microorganismos utilizados para el mejoramiento del crecimiento de las plantas son conocidos, según sus siglas en inglés como PGPM (*plant growth promoting microorganisms*). Estos microorganismos muestran actividad, y fueron aislados de rizosferas, rizoplanos o de dentro de las plantas por su acción endófito. El mejoramiento de crecimiento de los cultivos ocurre por mecanismos de promoción directos o derivados sobre las plantas. Uno de estos microorganismos, y que ha sido intensamente estudiado en su relación con las plantas, es *Azospirillum* sp., bacterias mutualistas, Gram negativas, microaerófilas (Pereg *et al.*, 2016). Dentro de sus propiedades como PGPM se reconocen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, de producir auxinas y otros reguladores del crecimiento (citocinina, giberelina, óxido nitroso, ácido abscísico y etileno) que inducen a la

germinación y al crecimiento inicial de las plántulas. Algunas cepas de *Azospirillum spp.* son resistentes a condiciones adversas de crecimiento por estrés salino o hídrico, ya que poseen capacidad de producir osmolitos y almacenar polihidroxi-butirato (Kumar *et al.* 2019). En Argentina, *A. brasilense* Az39 es la cepa de referencia para el desarrollo de inoculantes y fue recientemente reclasificada por dos Santos Ferreira *et al.* (2022) como *Azospirillum argentinense*.

Otras formulaciones de bioinsumos conteniendo microorganismos mejoradores del crecimiento incorporan cepas de bacterias de *Bacillus spp.* Los bacilos son bacterias Gram positivas, en forma de bastón, que también exhiben actividad promotora del crecimiento de plantas. Su capacidad para producir esporas latentes, tolerantes al calor y a la desecación, a diferencia de los microbios Gram negativos, no sólo les permite sobrevivir a un estrés severo en el campo, sino que también ha llevado a su utilización comercial debido a la fácil dispersión y la mayor sobrevivencia de sus esporas (Fravel, 2005). Los *Bacillus spp.* pueden sobrevivir en condiciones de deshidratación, incluso sobre las semillas, más tiempo que otras bacterias, lo cual hace que tenga vitalidad de mayor duración y mayor flexibilidad en el proceso de inoculación (Schisler *et al.*, 2004). Los *Bacillus spp.* pueden mejorar el crecimiento de las plantas por diversos mecanismos: secuestrando o movilizand o metales pesados en suelos contaminados, controlando patógenos a través de la resistencia sistémica inducida, sintetizando antibióticos o compuestos volátiles, mediante la producción de hormonas vegetales como el ácido indol-3-acético (IAA), la citoquinina y el ácido giberélico (GA) o mediante la reducción de la concentración de etileno o actuando sinérgicamente con microbios simbióticos que fijan nitrógeno o adquieren fósforo (Schwartz *et al.*, 2013). Los *Bacillus spp.* se observan comúnmente en la rizósfera, la filosfera o como endófitos. En el caso particular de *Bacillus simplex* se ha encontrado que promueve el crecimiento de *Arabidopsis thaliana* (Gutiérrez-Luna *et al.*, 2010), tomate (*Lycopersicon esculentum*) y

trigo (*Triticum aestivum* L.) (Hassen *et al.*, 2010). Por otro lado, cuando se coinoculan *Bacillus spp.* con *Rizobium leguminosarum*, fue descrita que opera como PGPM a través de un mecanismo que involucra antagonismos fúngicos, solubilización de fosfatos, producción de sideróforos y secreción de auxina (Schwartz *et al.*, 2013). *B. simplex* es un componente activo incluido recientemente en formulaciones para promover el crecimiento de maíz (*Zea mays* L.) y de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] en Brasil (Senger *et al.*, 2022). Tal lo descrito, varios de estos mecanismos actúan de forma positiva en el desarrollo de los cultivos y mejoran su crecimiento ante condiciones de estrés.

En la región semiárida pampeana es frecuente que ocurran periodos de estrés asociados al régimen hídrico monzónico, donde las lluvias invernales son normalmente deficitarias. El trigo es uno de los cultivos invernales predominantes ya que es considerado dentro de los cultivos con mejor comportamiento frente a condiciones adversas de crecimiento (Alvarez *et al.*, 2020). La combinación de la variabilidad de precipitaciones y la escasa capacidad de almacenar agua en los suelos condiciona el logro de altos rendimientos de trigo. Además, la cantidad de agua utilizada por el cultivo para su crecimiento varía según prácticas de manejo que modifican la porosidad y afectan la infiltración. Entre estas prácticas se describen el cultivo antecesor, las labranzas, el manejo de barbechos y la utilización de cultivos de cobertura en la rotación (Alvarez *et al.*, 2020). Las restricciones en la normal provisión de agua, como de nutrientes, son factores frecuentes de reducción en el crecimiento de los cereales de invierno en el centro de la región semiárida pampeana. Bajo condiciones de estrés los cultivos reducen su crecimiento y según el momento de la ocurrencia se observan efectos de reducción en la formación de los diversos componentes del rendimiento. Por ejemplo, el estrés temprano conduce a fallas en la implantación con menor cantidad de plantas logradas y en la formación de macollos. Limitaciones al crecimiento durante el periodo crítico de formación de rendimiento se manifiestan con reducciones en el número de grano y su

ocurrencia durante el llenado de los granos se observa con menor peso individual de los granos.

En trigo se reconocen mejoras y cambios en el crecimiento de las plantas en presencia de PGPM y como resultado de su aplicación en formulaciones de bioinsumos (Díaz-Zorita & Fernandez Canigia, 2009; Palmero *et al.* 2020). Algunas investigaciones muestran que como resultado de la aplicación de formulaciones conteniendo *Azospirillum sp.* en tratamientos de semillas mejora la adaptación de las plantas frente a condiciones de estrés en diferentes estadios del cultivo resultando en mayor crecimiento de raíces, de biomasa aérea y de producción de granos (Cassan & Díaz-Zorita, 2016; Cassan *et al.*, 2020; Okon y Labandera-Gonzalez, 1994; Okon *et al.*, 2015.). Los estudios con *Bacillus spp.* en condiciones de producción extensiva de cereales son menos frecuentes como también son escasos los estudios que comparan, bajo condiciones similares de producción, la contribución de formulaciones biológicas conteniendo microorganismos promotores del crecimiento de las plantas y los efectos sobre la formación del rendimiento de los cultivos.

HIPÓTESIS

- La incorporación en tratamiento de semillas de trigo de bioinsumos conteniendo microorganismos promotores del crecimiento vegetal mejora el crecimiento y la formación del rendimiento del cultivo.
- La respuesta del trigo a la aplicación de tratamientos con bioinsumos conteniendo microorganismos promotores del crecimiento es independiente del microorganismo considerado, de mayor magnitud ante mayor intensidad del estrés, expresado como producción media alcanzable debido principalmente a la cantidad de granos formados.

OBJETIVO

- Cuantificar diferencias en componentes numéricos del rendimiento y en la producción de trigo según tratamientos de semillas con formulaciones conteniendo *Azospirillum argentinense* y *Bacillus simplex* bajo condiciones de cultivo representativas del centro de la región semiárida pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los sitios experimentales

El estudio se realizó durante las campañas 2020, 2021 y 2022 en el campo experimental (CE) y el lote 1A (CET), de la Facultad de Agronomía de la UNLPam en Santa Rosa (La Pampa). En ambos sitios, CE y CET, el suelo está clasificado como Haplustol Éntico Petrocálcico de textura franco-arenosa sobre un manto de tosca entre 0,80 y 1,20 m de profundidad en el CE y entre 0,35 y 0,80 cm de profundidad en el CET. Estos suelos son característicos y representativos del sector central de la región pampeana, subregión de la pampa con tosca (Vázquez, 2014).

Caracterización agroclimática

En la tabla 1 y en la figura 1 se resumen los registros de temperaturas y de precipitaciones durante los años de los estudios; los mismos provienen de la estación meteorológica de la Facultad de Agronomía UNLPam. Se puede observar que las condiciones agroclimáticas mostraron diferencias en su magnitud y distribución entre los años evaluados y con respecto a los datos históricos de la región.

Tabla 1: Registros de temperaturas (°C) mínimas, máximas y medias mensuales del aire en abrigo a 1,5 m, históricas (periodo 1977-2017) y durante los tres años de ensayos en el campo de enseñanza de la Facultad de Agronomía de la UNLPam. Min: temperatura mínima, Max: temperatura máxima.

	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	36,0	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	8,0	-4,8	23,3	7,7	-5,8	21,1	7,0	2,1	14,3	8,2
Julio	-6,2	19,4	6,7	-5,0	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	13,0	-1,2	28,6	13,0	5	19,2	12,4
Octubre	0,4	34,6	15,3	0,6	38,0	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

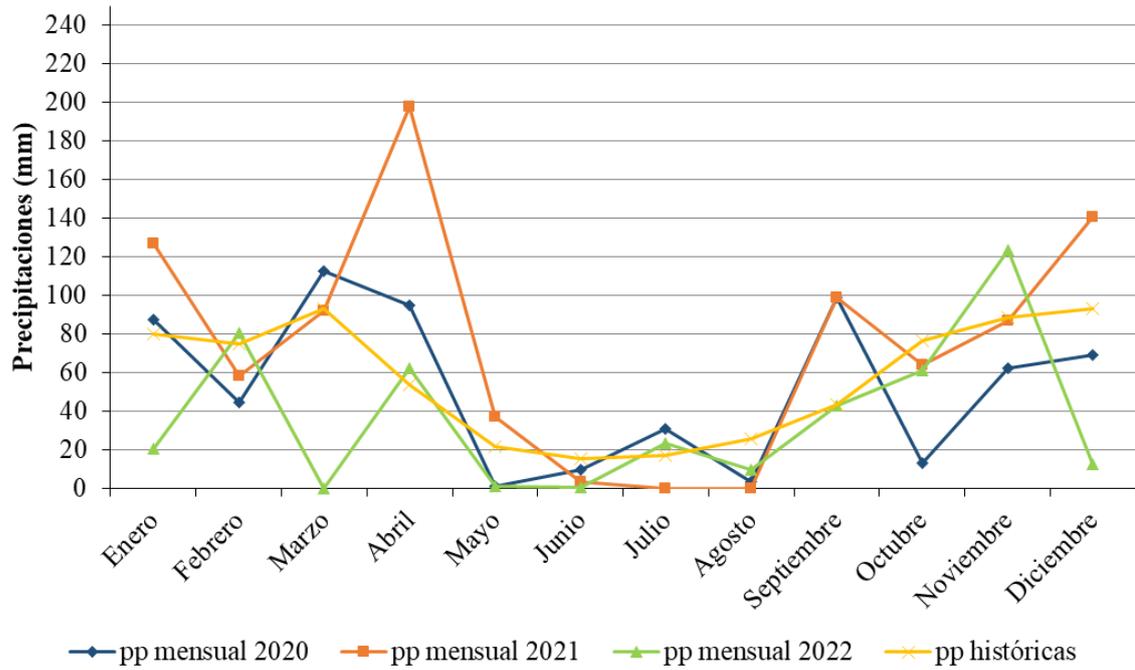


Figura 1: Precipitaciones mensuales durante los tres años de ensayos e históricas (periodo 1977-2017) en el campo de enseñanza de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

Diseño del estudio

Los materiales sembrados y las principales características de manejo de los cultivos de trigo se detallan en la tabla 2. Los cultivos se condujeron bajo condiciones no limitantes de nutrición y se mantuvieron libres de malezas, plagas y enfermedades. Los tratamientos sobre semillas evaluados fueron: control sin inocular, inoculación con *Azospirillum argentinense* Az39 (Az39) e inoculación con *Bacillus simplex* (BS). Los tratamientos y dosis de productos se describen en la tabla 3. En todos los casos el volumen final del tratamiento se completó con agua destilada hasta 10 ml kg⁻¹ y en el caso del control sin aplicación de microorganismos las semillas fueron tratadas solo con agua destilada.

En cada año, los ensayos se dispusieron siguiendo un diseño en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones, siembra a 21 cm de distancia entre hileras y un tamaño de parcelas de 9 m² (1,5 m de ancho x 6 m de longitud).

Tabla 2: Materiales de trigo cultivados y resumen de prácticas de manejo de los ensayos. FDA: fosfato diamónico.

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

Tabla 3. Descripción de los tratamientos de semillas

Tratamiento	Bioinsumo (ml kg⁻¹)	Agua destilada (ml kg⁻¹)
Control	0	10
Az 39	10	0
BS	0,65	9,35

Determinaciones

En madurez fisiológica de los cultivos, se evaluaron los componentes del rendimiento por cosecha y trilla manual de 1 m de longitud en 2 surcos centrales de cada parcela (0,42 m²) para determinar el peso individual de los granos (peso de mil granos) y total (rendimiento) y estimar el número de granos m⁻² según el cociente entre el rendimiento y el peso de mil granos.

Análisis de datos

El ensayo se realizó con un diseño en bloques completos donde cada sitio, variedad y campaña fue considerado como un bloque (réplica). Los resultados se analizaron aplicando análisis de la varianza con un factor (tratamiento de semillas) y 7 réplicas por tratamiento (sitio-cultivo-campaña).

Las comparaciones entre medias de tratamientos se analizaron a través de la prueba de LSD de Fisher. También se evaluó la relación y se compararon los parámetros del ajuste lineal entre los rendimientos medios de los tratamientos de semillas y la productividad media de cada sitio o índice ambiental. Para estos análisis se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de granos

Los rendimientos de trigo variaron entre 936 y 6030 kg ha⁻¹, con una media de 2717 kg ha⁻¹ y se observó diferencias según los tratamientos de semillas y sitios evaluados. En promedio, el comportamiento productivo del trigo tratado con Az39 fue independiente del nivel de productividad del sitio mientras que con BS varió entre niveles de productividad (Figura 2).

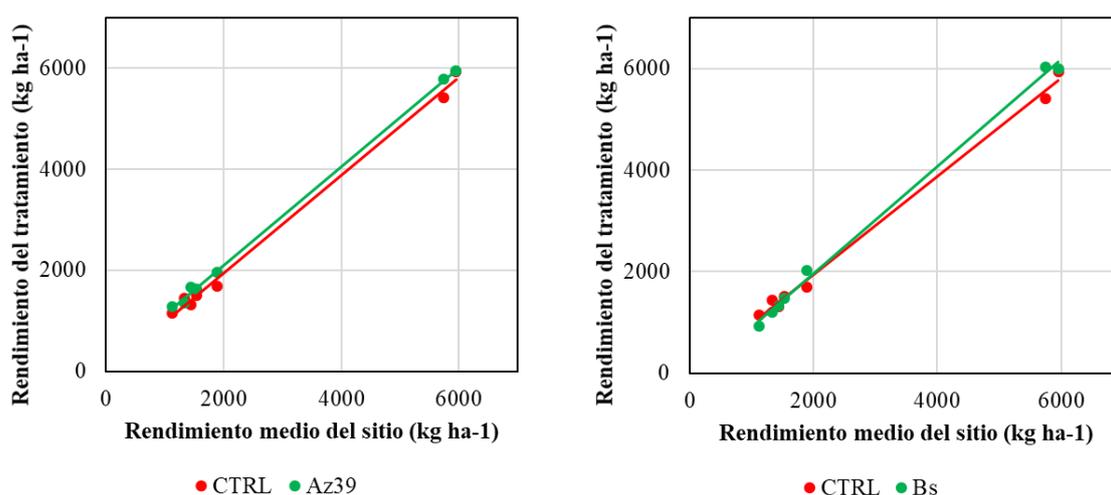


Figura 2: Producción de trigo según tratamientos de semillas con microorganismos promotores del crecimiento de plantas en 7 casos del centro de la región semiárida pampeana. Az39: *Azospirillum argentinense* Az39, Bs: *Bacillus simplex*.

En promedio para los 7 casos evaluados, la producción de granos no aumentó significativamente en los tratamientos con BS (Tabla 4). Al aplicarse el tratamiento con Az39 los rendimientos medios se incrementaron en aproximadamente 9 % con respecto a la producción alcanzada en el tratamiento control (Tabla 4). Entre tratamientos se encontró diferencias significativas en los promedios cuando se aplicó tratamiento de semillas siendo mayor con aplicación de Az39 ($p \leq 0,11$). Similares respuestas fueron reportadas por Díaz-

Zorita (2019) sobre 617 casos de ensayos en el campo con trigo durante 15 campañas donde describió que la inoculación con *Azospirillum sp.* aplicado en tratamientos de semillas mejora el rendimiento un 6 % en promedio. Por otro lado, un ensayo de aplicación conjunta de inoculante a base de *Azospirillum brasiliense* y fertilización nitrogenada mejoró componentes del rendimiento generando un mayor número de granos por espiga, mayor número de espigas por superficie, a su vez se observaron leves aumentos en el peso del grano (Castillo, 2020). Diversos autores demostraron incrementos en el rendimiento del grano de trigo en respuesta a la inoculación de *A. brasiliense* (Díaz-Zorita *et al.*, 2015; García de Salamone, 2012; Naiman *et al.* 2009). Di Salvo *et al.* 2018, informó que cuando fue fertilizado con N en combinación con inoculación con las cepas 40M y 42M de *A. brasiliense* no encontró aumentos significativos en rendimiento de grano y la biomasa aérea de trigo en comparación con las plantas control sin este tratamiento. En cuanto a los casos de BS, no se encuentran reportes científicos que describan sus efectos sobre los rendimientos bajo condiciones productivas pampeanas. En Brasil, Senger *et al.*, (2022) describieron que la aplicación del inoculante a base de *Bacillus simplex* tiene potencial para ser ampliamente utilizado en maíz y soja, con aumentos del rendimiento tanto o más que aquellos cultivos inoculados con *Azospirillum sp.* donde las cepas de referencia de este último microorganismo difieren de las empleadas en Argentina.

Durante la campaña 2021, se alcanzaron rendimientos extraordinarios cercanos a los 6000 kg ha⁻¹ de producción (CE2021), mientras que en las campañas 2020 y 2022 fueron menores los rendimientos alcanzados y similares a los frecuentes en el área de estudio.

Tabla 4: Producción de trigo según sitios y tratamientos. $p(x)$: valor p de la significancia en la diferencia de medias de tratamientos de semillas Az39 o BS comparado con el control sin aplicación de microorganismos promotores del crecimiento de plantas. Az39: *Azospirillum argentinense* Az39, BS: *Bacillus simplex*. Letras diferentes en los promedios de rendimiento muestran diferencias entre tratamientos de semillas ($p \leq 0,15$). $p(x)$: valor de P de la comparación de cada tratamiento de semillas con el control.

Sitio	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Respuesta sobre el control (%)	
	Az 39	BS	Control	Az 39	BS
1. CE_2020 (Ñandubay)	1970	2019	1694	16,3	19,2
2. CE_2021 (Audaz)	5945	5986	5936	0,2	0,8
3. CE_2021(Ñandubay)	5788	6030	5412	7,0	11,4
4. CE_2022 (Catalpa)	1661	1336	1313	26,5	1,7
5. CE_2022 (Pehuén)	1625	1478	1507	7,8	-1,9
6. T_2022 (Catalpa)	1274	936	1149	10,9	-18,6
7. T_2022 (Pehuén)	1347	1204	1440	-6,4	-16,4
Promedio	2802 a	2713 ab	2636 b	8,9	-0,5
<i>p(x) bioinsumo vs. Control</i>	<i>0,05</i>	<i>0,53</i>			

Componentes numéricos de los rendimientos

El número de granos (NG) de trigo por unidad de superficie varió entre 4434 y 21422, con una media de 8063 granos m⁻². La cantidad de granos cosechados mostró alta variabilidad entre los sitios ($p < 0,0001$), fundamentalmente explicada tanto por las condiciones meteorológicas durante los ciclos de crecimiento como por la presencia las limitaciones al crecimiento en cada lote. El menor NG se obtuvo en los sitios limitados por profundidad de suelo por con presencia de tosca de manto calcáreo (Figura 3).

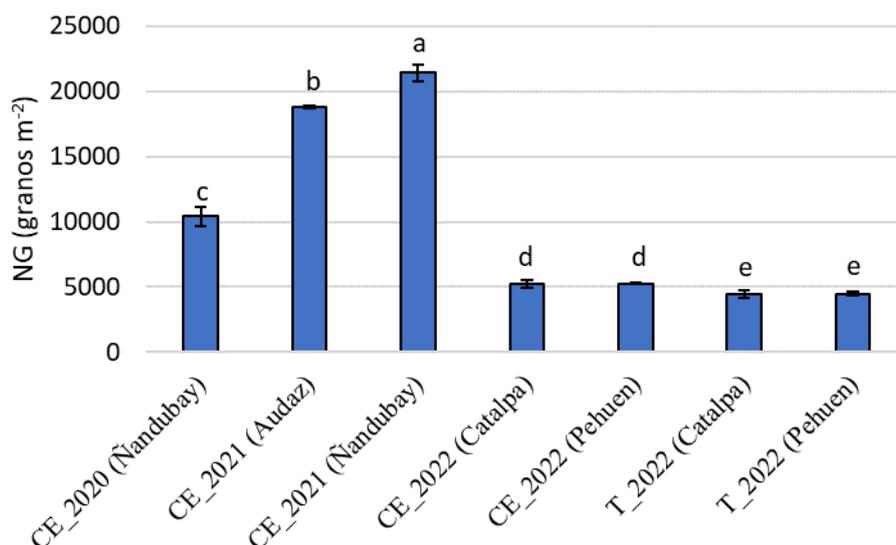


Figura 3: Número medio de granos (NG) en 7 sitios de producción de trigo. Promedio de 3 tratamientos de semillas \pm EE. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,10$).

La aplicación de tratamientos de semillas conteniendo microorganismos promotores del crecimiento modificó la cantidad de granos cosechados. El promedio del número de granos por unidad de superficie fue de 9642 granos m^{-2} para el tratamiento control, mientras que para los tratamientos Az39 y BS fue de 10243 y de 10138 granos m^{-2} , respectivamente. En promedio para los 7 casos estudiados, cuando se inoculó con Az39 se observó mayor producción de granos ($p \leq 0,13$) con respecto al control que cuando se inoculó con BS ($p \leq 0,33$). Entre tratamientos se encontró diferencias significativas en los promedios cuando se aplicó tratamiento de semillas ($p \leq 0,11$). En términos porcentuales, el aumento en el número de granos por metro cuadrado con respecto al control sin aplicación de bioinsumos, fue de 7,5 % para el tratamiento Az39 y de 2,5 % al aplicar BS (Tabla 5).

Tabla 5: Número de granos por unidad de superficie y porcentaje respecto al control de diferentes tratamientos de semillas. Az39: *Azospirillum argentinense* Az39, BS: *Bacillus simplex*. Letras diferentes en los promedios de rendimiento muestran diferencias entre tratamientos de semillas ($p \leq 0,15$). $p(x)$: valor de P de la comparación de cada tratamiento de semillas con el control

Sitio	NG m ⁻²			Respuesta sobre el control (%)	
	Az39	BS	Control	Az39	BS
CE_2020 (Ñandubay)	11161	11131	8920	25,13%	24,78%
CE_2021 (Audaz)	18729	18677	18931	-1,07%	-1,34%
CE_2021(Ñandubay)	21331	22589	20346	4,84%	11,02%
CE_2022 (Catalpa)	5946	5267	5009	18,70%	5,15%
CE_2022 (Pehuén)	5404	5333	5196	4,00%	2,64%
T_2022 (Catalpa)	4905	3845	4463	9,92%	-13,84%
T_2022 (Pehuén)	4221	4124	4631	-8,84%	-10,95%
Promedio	10243 a	10138 a	9642,3 b	7,52%	2,50%
<i>p(x) trt vs. Control</i>	0,13	0,33			

El peso individual de los granos también mostró diferencias entre los sitios ($p \leq 0,0001$), principalmente entre el estudio desarrollado en la campaña 2020 y el resto de los casos (Figura 4) pero sin diferencias entre los tratamientos de semillas aplicados (Figura 5). Durante el llenado de los granos en la campaña 2020 se registraron escasas precipitaciones y temperaturas extremas a anticipando el fin del llenado de los granos por golpe de calor cosechándose “granos chuzos”.

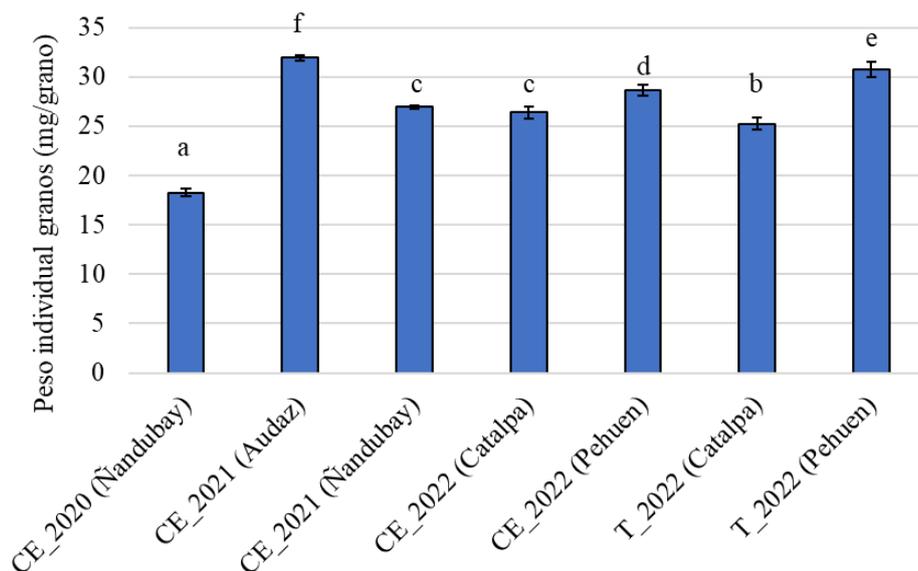


Figura 4: Peso individual de granos en 7 sitios de producción de trigo. Promedio de 3 tratamientos de semillas \pm EE. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,10$).

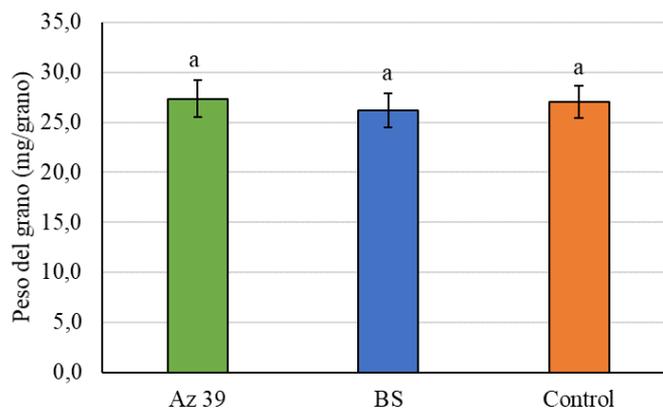


Figura 5: Peso individual de granos en cultivos de trigo según tratamientos de semillas con bioinsumos conteniendo microorganismos promotores del crecimiento de plantas. Az39: *Azospirillum argentinense* Az39, BS: *Bacillus simplex*.

Los resultados en cuanto a los componentes del grano coinciden con lo observado por otros autores que describen diferencias en la formación de granos y resultados variables o no significativos en el peso individual. Entre estos estudios, Barneix et al. (2015) informo que la inoculación con *B. simplex* aumentó la materia seca del cultivo de trigo, sin embargo,

disminuyó el número de granos por lo que el rendimiento de grano no aumentó consistentemente. García *et al.* (2016) describieron en un ensayo de trigo inoculado con *Azospirillum* sp, que el número de espigas fue un 15 % superior en los tratamientos inoculados, aunque este incremento no fue significativo. En cuanto al peso de mil granos informaron que no observaron diferencias entre los tratamientos. Estas observaciones validan la contribución de promotores del crecimiento a la formación temprana de estructuras reproductivas (espigas) que derivan en la formación de granos con menores aportes a su llenado.

CONCLUSIONES

En las condiciones de estos estudios, representativas de cultivos de secano en el centro de la región semiárida pampeana, la respuesta del trigo a la aplicación de bioinsumos conteniendo microorganismos promotores del crecimiento no es independiente del microorganismo considerado.

La aplicación de un tratamiento de semillas conteniendo *Azospirillum argentinense* Az39 mejora los rendimientos con respuestas medias 9 % superiores al control sin tratar y explicados principalmente por mayor cantidad de granos cosechables.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro Director y Codirectora, a las cátedras de Cereales y Oleaginosas, Microbiología Agrícola, Climatología Agrícola, al personal no docente del campo experimental y a nuestros compañeros quienes nos ayudaron en el proceso de nuestro TFG.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, C.O., 2020. La importancia del agua para producir trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Notas Agrícolas Pampeanas* N°1, 7-8.
- Barneix, AJ, MI Saubidet, N. Fatta & M. Kade. 2005. Effect of rhizobacteria on growth and grain protein in wheat. *Agron. Sustain. Dev.*, Springer Verlag (Alemania), ,25: 505-511.
- Calvo, P., Nelson L. & Kloepper, J.W. 2014. Agricultural Uses of Plant Biostimulants. *Plant Soil*, 383, 3-41. <https://doi.org/10.1007/s1110>
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina R., Nieves, 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. *Biol Fertil Soils* 56, 461–479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>
- Cassán, F., & Diaz-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>.
- Castillo, J.M., 2020. Trabajo Final de Aplicación de la UNLu “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.) <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/962>
- Castro, P., y Vieira E., 2001. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical.. Guaíba: Agropecuária, 132p.

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., Ferandez-Canigia, M.V., Bravo, O.Á., Berger, A., Satorre, E.H. 2015. Field Evaluation of Extensive Crops Inoculated with *Azospirillum* sp.. En: Cassán, F., Okon, Y., Creus, C. (eds) *Handbook for Azospirillum*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7_24

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.

Di Salvo, L.P., Ferrando, L., Fernández-Scavino, A. Garcia 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 Soil* **424**, 405–417. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3548-7>

Di Rienzo J.A., F., C., M.G., B., L., G., M., T., & C.W, R. 2020. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>

dos Santos Ferreira, N., Coniglio, A., Puente, 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. *Int J Syst Evol Microb* 72:005475.

Fravel, D. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. *Ann. Re. Phytopathol.* 43: 337–359.

García, J.E., Puente, M.L., Maronichea, G.A., Peticari, A., 2016. Estudio de *Azospirillum* como tecnología aplicable en los cultivos de trigo y maíz. In: *Microbiología Agrícola. Un aporte de la investigación en Argentina. Segunda edición. Capítulo 20.* Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Magna Publicaciones.

Garcia de Salamone, I.E., Funes, J.M., Di Salvo, L.P., Escobar Ortega, J.S., Auria, F., Ferrando, L. and Fernandez 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 of Soil Ecology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.12.012>

Gutiérrez-Luna, F.M.; López-Bucio, J.; Altamirano-Hernández, J.; Valencia-Cantero, E.; de la Cruz, H.R.; Macías-Rodríguez, L. 2010. Plant growth-promoting rhizobacteria modulate root-system architecture in *Arabidopsis thaliana* through volatile organic compound emission. *Symbiosis* 51: 75–83.

Hassen, A.I.; Labuschagne, N. 2010. Root colonization and growth enhancement in wheat and tomato by rhizobacteria isolated from the rhizoplane of grasses. *World J. Microbiol. Biotechnol* 26, 1837–1846

- Kumar, J. S. Patel, V. S. Meena & P. W. Ramteke. 2019. Plant growth-promoting rhizobacteria: strategies to improve abiotic stresses under sustainable agriculture, *Journal of Plant Nutrition*, 42:11-12, 1402-1415, DOI: 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. & Labandera-Gonzalez, 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).
- Okon, Y.C., Labandera-Gonzales, C., Lage, M., Lage, P., 2015. Agronomic applications of *Azospirillum* and other PGPR. In: de Bruijn FJ (ed) *Biological nitrogen fixation*, vol 2. John Wiley & Sons Inc, New York, pp 925–936. <https://doi.org/10.1002/9781119053095>.
- 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>
- Pereg, L., de-Bashan, L.E. & Bashan, Y. 2016. Assessment of affinity and specificity of *Azospirillum* for plants. *Plant Soil* 399: 389–414. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2778-9>

Schisler, D.A., Slininger P.J., Behle R.W., Jackson M.A., 2004. Formulation of *Bacillus spp.* for Biological Control of Plant Diseases. *Phytopathology*. :1267-1271. doi: 10.1094/PHYTO.2004.94.11.1267. PMID: 18944465.

Schwartz, A.R.; Ortiz, I.; Maymon, M.; Herbold, C.W.; Fujishige, N.A.; Vijanderan, J.A.; Villella, W.; Hanamoto, K.; Diener, A.; Sanders, E.R.; DeMason, D.A.; Hirsch, A.M. 2013. *Bacillus simplex*—A Little Known PGPB with Anti-Fungal Activity—Alters Pea Legume Root Architecture and Nodule Morphology When Coinoculated with *Rhizobium leguminosarum bv. viciae*. *Agronomy* 3: 595-620. <https://doi.org/10.3390/agronomy3040595>.

Senger, M., Eloir Moresco, Marisa Dalbosco, Rita Santin, Patrik Inderbitzin, Ellen Noly Barrocas 2022. Methods to quantify *Bacillus simplex*-based inoculant and its effect as a seed treatment on field-grown corn and soybean in Brazil. *Journal of Seed Science*, v.44, e202244040. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44263329>

Starobinsky, G., Monzón, J., Di Marzo Broggi, E. y Braude, E. 2021. Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo. Capacidades existentes y estrategia de política pública para impulsar su desarrollo en Argentina. Documentos de Trabajo del CCE N° 17. Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

Vazquez, P., 2014. La ecuación suelo-paisaje, los sensores remotos y la actualización de la cartografía edáfica de la provincia de La Pampa. Ediciones INTA.