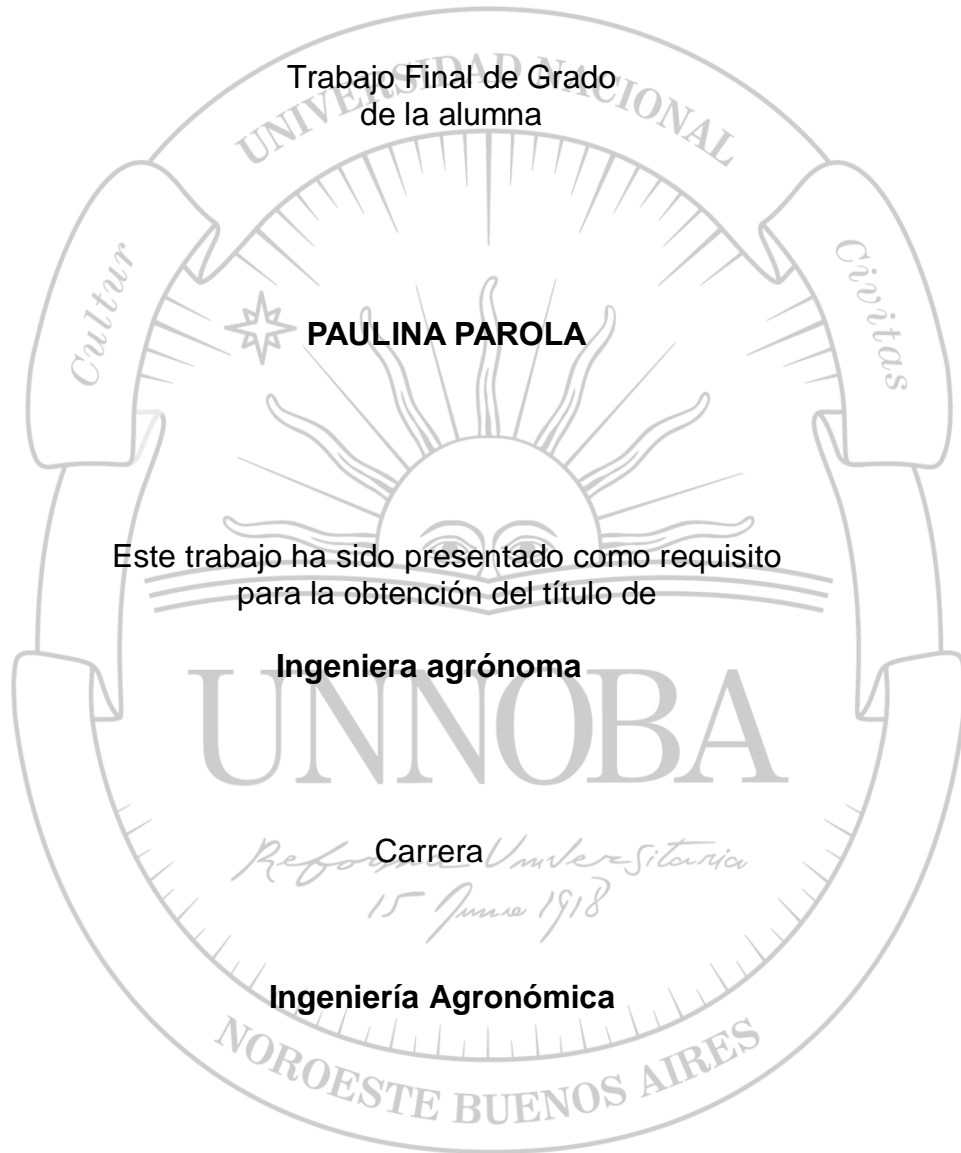


EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE *GLUCONACETOBACTER DIAZOTROPHICUS* SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TRIGO EN EL PARTIDO DE JUNÍN, PROVINCIA DE BUENOS AIRES



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Junín, 2 de julio de 2024

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE *GLUCONACETOBACTER DIAZOTROPHICUS* SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TRIGO EN EL PARTIDO DE JUNÍN, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Trabajo Final de Grado

de la alumna

PAULINA PAROLA

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

Ing. Agr. Juan Pablo de Benedetto

Director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Junín, 2 de julio de 2024

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la educación pública de la Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales de la UNNOBA y a cada uno de sus docentes, trabajadores y compañeros por su enseñanza, tanto profesional como personal, y por permitirme convertirme en Ingeniera Agrónoma y haber hecho tan buenos amigos.

A mi familia, amigos y colegas por el apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera y a mi director, quien siempre estuvo presente y me acompañó con buena disposición y paciencia, logrando un intercambio fluido entre ambos para la realización de esta tesis.

A laboratorios CLEMOS, de la provincia de Córdoba, por su ayuda tan valiosa al momento del análisis de las muestras.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. HIPÓTESIS.....	11
4. OBJETIVOS.....	11
4.1. Objetivo general.....	11
4.2. Objetivos específicos.....	11
5. PALABRAS CLAVES.....	11
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
6.1 Análisis estadístico.....	16
6.2 Análisis económico.....	16
7. RESULTADOS.....	17
7.1 Implantación del cultivo.....	17
7.2. Rendimiento.....	18
7.3 Peso de mil semillas.....	19
7.4 Calidad del grano.....	19
7.5 Análisis económico.....	20
8. DISCUSIÓN.....	22
9. CONCLUSIÓN.....	27
10. BIBLIOGRAFÍA.....	29
11. ANEXOS.....	35

Efecto de la aplicación de *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre la producción del cultivo de trigo en el partido de Junín, provincia de Buenos Aires

1. RESUMEN

El trigo es uno de los cereales más ampliamente cultivados, impulsando un activo mercado a nivel mundial y nacional al ser fuente de alimento esencial para la humanidad y el ganado. En Argentina, este cultivo es protagonista de las rotaciones, representando la opción invernal más frecuentemente elegida por los productores. El uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados dentro del esquema de producción de esta gramínea, así como de otros cultivos, supone altos costos productivos y riesgo de generar perjuicios ambientales. Algunos microorganismos promotores del crecimiento de las plantas con la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico han sido propuestos como biofertilizantes, promoviendo enfoques más sustentables. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la inoculación de la bacteria fijadora de nitrógeno *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre la implantación del cultivo de trigo, el rendimiento, el peso de mil semillas y la calidad del grano. Se condujo un ensayo a campo en el partido de Junín, provincia de Buenos Aires durante la campaña 2022, año caracterizado por un promedio de precipitaciones considerablemente inferior al promedio para la región. El experimento se sembró bajo un diseño en bloques completamente aleatorizados con 4 repeticiones y 6 tratamientos, incluyendo fertilización nitrogenada e inoculación con *Gluconacetobacter diazotrophicus* tanto en semilla como foliar. Los resultados fueron analizados estadísticamente y bajo un análisis económico. Los tratamientos que involucran la combinación de fertilizante nitrogenado con la aplicación de dicha bacteria evidenciaron un margen de ganancia superior en 300% promedio al margen obtenido con el tratamiento que sólo incluye fertilización nitrogenada. Si bien la utilización de *Gluconacetobacter diazotrophicus* resultó en mejoras notables en la producción del cultivo, no se encontró evidencia que respalde los potenciales efectos positivos de esta bacteria en la calidad del grano de trigo. La adopción de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico es sugerida para planteos de manejo agronómico más amigables y respetuosos con el medio ambiente y los costos productivos.

2. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum*) es uno de los productos agrícolas considerado esencial y básico como fuente alimenticia a nivel mundial. La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) destaca su importancia como fuente nutricional y de energía en la dieta diaria de los seres humanos; además de ser utilizado como alimento para ganadería. Junto con el maíz y el arroz, el trigo es uno de los cereales más ampliamente cultivados, promueve un activo mercado a nivel mundial, por lo que su cultivo es objeto de estudio, y los investigadores agrícolas desarrollan programas de mejora en variedades, manejo y tecnología en la producción (Marangón Monteros, 2014).

De las gramíneas de invierno el trigo es el principal cultivo sembrado a nivel nacional, con aproximadamente 6.750.000 hectáreas en la campaña 2021/22, siendo Buenos Aires la principal provincia productora y la que ofrece los mejores rendimientos con un promedio de 3550 k ha⁻¹ (Mir *et al.*, 2022).

Este cultivo es uno de los más exigentes y demandantes en nutrientes debido a que, por un lado, es una especie que tiene un gran potencial de crecimiento, acentuado por la mejora genética de las últimas décadas que ha incrementado significativamente los rendimientos potenciales (Lollato, 2019, Ferraris, 2021). Por otro lado, el ciclo del cultivo transcurre en una estación fría de crecimiento donde la mineralización de la materia orgánica del suelo se ve reducida como consecuencia de una mínima actividad microbológica en esta época del año. Además, es destacable la creciente degradación química de los suelos producto de la alta relación extracción/reposición de nutrientes característica de nuestro sistema productivo. Esta conjunción de alta demanda con un sistema que tiene una oferta nutricional restringida hace que se dependa mucho de los fertilizantes externos para sostener el crecimiento del cultivo (Ventimiglia, 2019, Ferraris, 2021).

Los suelos con muchos años de agricultura continua y donde la materia orgánica ha disminuido aproximadamente a un 50% del contenido inicial, ya no tienen suficiente disponibilidad de nutrientes para abastecer al cultivo sin fertilización. La dosis óptima de nitrógeno es función del potencial de rendimiento (y del contenido de nitrógeno en el suelo), por lo que al aumentar el mismo, se requieren mayores cantidades de nitrógeno en el mismo espacio de tiempo, lo que ha llevado a la necesidad de incrementar las dosis de este nutriente para poder mantener esos rendimientos (Ferraris, 2021). Lo mencionado trae innegablemente aparejado un aumento en los costos de producción y en los riesgos de contaminación y deterioro ambiental. El uso inadecuado o en exceso de fertilizantes nitrogenados, por ejemplo, provoca la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y la formación de óxido nitroso, importante gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global (Ceballos-Aguirre *et al.*, 2023). El uso de fertilizantes amoniacales es también una de las principales causas de la acidificación de suelos agrícolas, siendo este proceso controlado mayormente por las dosis de nitrógeno aplicadas (Ozlu y Kumar, 2018, Alvarez *et al.*, 2020).

Después del agua, el nitrógeno es el recurso que más comúnmente limita la producción de los cultivos de grano y es el nutriente requerido en mayor cantidad en el cultivo de trigo (25.8 kilogramos de N por tonelada de grano) (Divito *et al.*, 2017). Este elemento juega un rol esencial en el crecimiento del vegetal, siendo constituyente de moléculas como clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, paredes celulares, hormonas y vitaminas (Meyer *et al.*, 2018). Su vital importancia como nutriente hace que el plan de fertilización siempre esté orientado a cubrir las demandas de nitrógeno por parte del cultivo, como primera medida. Desde luego, también se deberá evaluar la situación con respecto a los demás nutrientes.

El suelo es un ecosistema con una gran variedad y cantidad de microorganismos benéficos. La fracción del suelo donde influye la proliferación de estos microorganismos por la presencia del sistema de raíces de las plantas se le conoce como rizósfera (Cassán *et al.*, 2009). Es ampliamente conocida la existencia de interacciones positivas entre estos microorganismos y especies vegetales.

Las diferentes poblaciones bacterianas presentes en la rizósfera se llaman rizobacterias o bacterias promotoras de crecimiento vegetal - (abreviado PGPR por sus iniciales siglas en inglés: Plant growth-promoting rhizobacteria) y poseen la capacidad de colonizar el sistema radicular de las plantas o su entorno más cercano, clasificándose en tres grupos principales: las que pueden colonizar el tejido de la planta formando nódulos (simbióticas), las que se hospedan en estructuras internas de la planta (endófitas) y las que se encuentran cerca del sistema radicular de la planta (bacterias de vida libre) (Kloepper *et al.*, 1989, Criollo *et al.*, 2012).

La promoción del crecimiento en plantas inoculadas con rizobacterias ocurre por varios mecanismos. Uno de ellos es la síntesis de sustancias reguladoras de crecimiento (fitohormonas), que estimulan la densidad y longitud de las raíces, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrientes y permite que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas (Hernández Montiel y Escalona Aguilar, 2003). Otro mecanismo importante es la solubilización de moléculas poco móviles del suelo, aumentando la disponibilidad de nutrientes para las plantas y contribuyendo así a su nutrición. El fenómeno de fijación biológica de nitrógeno atmosférico también representa un mecanismo por medio del cual las rizobacterias promueven el crecimiento de especies vegetales (Cuadrado *et al.*, 2009).

Gluconacetobacter diazotrophicus, bacteria endófito descubierta por primera vez en plantas de caña de azúcar (Cavalcante y Döbereiner, 1998), se caracteriza por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Reis *et al.*, 1994). También se ha observado que este microorganismo participa en la solubilización de fósforo (Restrepo *et al.*, 2017) y zinc (Saravanan *et al.*, 2008) aumentando la disponibilidad de estos para la absorción radicular, produce ácido indol acético y giberelinas (Bastián *et al.*, 1998) y muestra acción frente a patógenos (Intorne *et al.*, 2009). Todos estos atributos hacen que *G. diazotrophicus* sea considerada una rizobacteria promotora del crecimiento vegetal (Crespo *et al.*, 2010).

La inoculación con bacterias capaces de fijar nitrógeno atmosférico podría disminuir la demanda de nitrógeno externo por parte del cultivo (Bashan *et al.*, 2004), lo que se traduciría en una disminución de los costos de producción y del riesgo de impacto ambiental generados por el uso de fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, esta práctica no se encuentra muy difundida dentro del manejo agronómico del cultivo de trigo.

Hernández-Escareño *et al.* (2015) estudiaron el efecto de la inoculación con *G. diazotrophicus* en conjunto con otra bacteria en semillas de trigo utilizando dosis reducidas de fertilizantes nitrogenados. Mediante esa investigación demostraron que esta práctica es una alternativa para reducir la dosis de fertilizante nitrogenado y para mejorar la eficiencia del uso de estos en trigo, sin riesgos de causar disminuciones en su crecimiento.

La forma convencional de realizar la inoculación es sobre las semillas. Sin embargo, la efectividad al incorporar bacterias sobre ésta dependerá de las características edáficas (pH, humedad, materia orgánica, nutrientes, entre otros), de la interacción con compuestos aplicados sobre las semillas (fungicidas o insecticidas), de la competencia con la microflora nativa y la capacidad que tengan las bacterias utilizadas para colonizar las raíces. La inoculación foliar podría considerarse una tecnología innovadora que permitiría una mayor independencia de estas condiciones (Zanettini y Puente, 2017).

Estudios realizados en maíz (Portugal *et al.*, 2016) demostraron que las plantas tratadas con *Azospirillum brasilense* mediante inoculación foliar alcanzaron un rendimiento un 14% superior en comparación con las no tratadas. Otras aplicaciones foliares con *Gluconacetobacter diazotrophicus* en papaya, realizadas en una investigación llevada a cabo por (Alvarez *et al.*, 2013) demostraron el efecto beneficioso de esta PGPR. Estas aplicaciones se realizaron en estadio de quinta hoja verdadera, observándose aumentos significativos en variables de crecimiento y desarrollo tales como altura de planta, número de hojas y biomasa.

En base a lo expuesto en los párrafos anteriores, el propósito de este estudio fue analizar los efectos de la inoculación, tanto en semilla como foliar, con la PGPR fijadora de nitrógeno atmosférico, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, en la producción del cultivo de trigo. Ante la creciente preocupación por reducir el uso de fertilizantes químicos propensos a ocasionar impactos negativos en el ambiente y aumentar los costos productivos, con esta investigación se busca incorporar prácticas agronómicas que puedan ser consideradas como alternativas para lograr una producción más sustentable.

3. HIPÓTESIS

- 3.1** La aplicación de *Gluconacetobacter diazotrophicus* favorece la producción del cultivo de trigo al afectar positivamente la implantación, el rendimiento y el peso de mil semillas.
- 3.2** La inoculación con *Gluconacetobacter diazotrophicus* provoca mejoras en la calidad del grano de trigo en términos de proteína bruta, gluten húmedo y peso hectolítrico.
- 3.3** La incorporación de esta PGPR al sistema productivo de trigo genera beneficios económicos para el productor.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Estudiar el efecto de la inoculación tanto en semilla como foliar, en combinación con la fertilización nitrogenada, de *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre la implantación y la producción del cultivo de trigo.

4.2 Objetivos específicos

- I. Investigar el efecto de la aplicación de *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre la implantación del cultivo de trigo.
- II. Evaluar el efecto de la PGPR sobre la producción del cultivo.
- III. Determinar si la aplicación del inoculante genera beneficios económicos en la producción de este cereal.
- IV. Determinar si la inoculación afecta la calidad proteica del grano de trigo.

5. **PALABRAS CLAVES:** PGPR. FBN. Inoculación. *Gluconacetobacter diazotrophicus*. Trigo. Agricultura sustentable.

6. **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se condujo un ensayo en el campo experimental “Las Magnolias”, dependiente de la Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA). Este establecimiento está situado en el partido de Junín (subregión triguera ecológica II Sur), en el kilómetro 146,5 de la Ruta Nacional N°188 y cuenta con un suelo hapludol típico perteneciente a la serie Junín. Las coordenadas geográficas del mismo son 34°28'49" S, 60°52'33" W.

Antes de la siembra, actividades de labranzas y control de malezas fueron llevadas a cabo, logrando una cama de siembra óptima para la implantación del cultivo.

La siembra tuvo lugar el 8 de julio de 2022 con sembradora experimental perteneciente al mencionado campo. No se realizó remoción del suelo y se empleó la variedad Klein Potro de ciclo corto, grupo de calidad 1 (trigoklein.com.ar), con una densidad de 160 kg de semilla por hectárea. El perfil del suelo presentaba una pobre condición hídrica al momento de la siembra, atribuible a la extrema sequía característica de la campaña en la que se desarrolló el experimento (Figura 1). Se realizó una fertilización de base con fosfato monoamónico (grado equivalente 11-52-0) a una dosis de 150 kg por hectárea, aplicado junto a la semilla. La fertilización nitrogenada se realizó en una etapa posterior dentro del ciclo del cultivo. El producto biológico (*Gluconacetobacter diazotrophicus* cepa PAL5) fue provisto por la empresa Laboratorios ARBO SRL de la localidad de Junín.

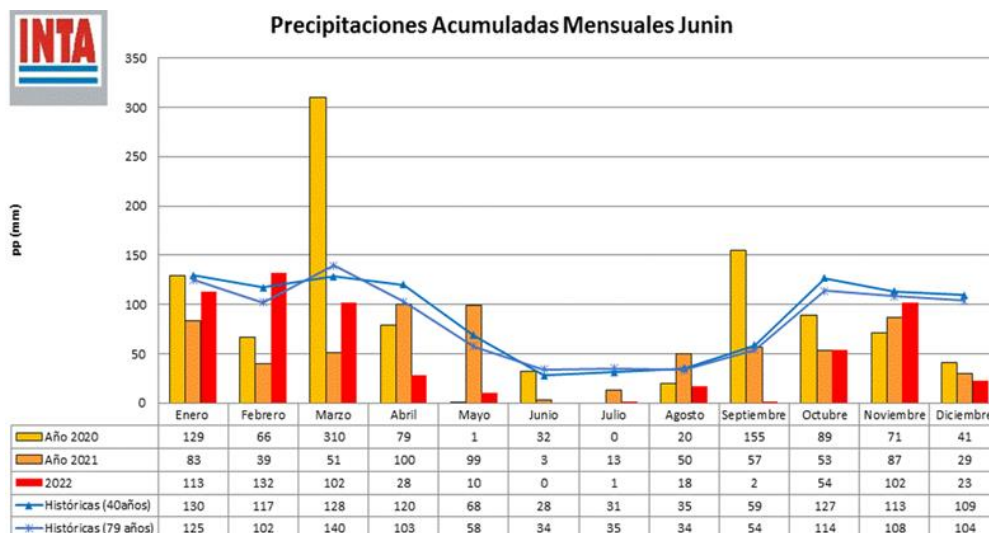


Figura 1. Precipitaciones mensuales registradas en Estación INTA Junín durante los años 2020, 2021, 2022 y promedios históricos. Fuente: INTA Junín.

Se trabajó en parcelas de 7 metros de largo por 1,4 metros de ancho, con un distanciamiento entre hileras de 0,2 metros (7 surcos por parcela). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizado (DBCA) con 4 bloques y 6 tratamientos. Cada parcela fue considerada una unidad experimental a la que se le asignó un tratamiento. La distribución de estos a campo se muestra en la Figura 2.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

1. T = Testigo (sin fertilización nitrogenada y sin inoculación)
2. N = Fertilizado con nitrógeno
3. GS = *G. diazotrophicus* en semilla
4. GF = *G. diazotrophicus* foliar
5. N+GS = Fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla
6. N+GF = Fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar

**Todos los tratamientos recibieron fertilización fosforada al momento de la siembra.*

Es importante destacar que la elección de aplicar diferentes niveles de fertilización nitrogenada (sin N/con N) se hizo con el propósito de examinar cómo la cepa bacteriana utilizada podría influir en la producción del cultivo a través de la fijación biológica de nitrógeno.

Bloque 1	N	N + GF	N + GS
	T	GF	GS
Bloque 2	N + GF	N	GS
	GF	N + GS	T
Bloque 3	N	GS	GF
	N + GS	N + GF	T
Bloque 4	GS	T	N
	N + GF	N + GS	GF

Figura 2. Diagrama del ensayo. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

La fertilización nitrogenada se realizó al voleo durante el macollaje del cultivo, correspondiente al estadio Z 2.2 según la escala Zadoks (Zadoks et al., 1974), el 24 de octubre de 2022. Se utilizó el fertilizante Nitrodoble de la empresa Yara (27-0-0 + 6% CaO + 4% Mg) a una dosis de 200 k ha⁻¹, lo que equivale a 54 k ha⁻¹ de N. Esta aplicación se efectuó únicamente en las parcelas de los tratamientos N, N+GS y N+GF, mientras que las demás no recibieron fertilización nitrogenada en ese momento. Sin embargo, todos los tratamientos fueron fertilizados con 150 k ha⁻¹ de fosfato monoamónico a la siembra, aportando 16,5 k ha⁻¹ de N a cada uno de los seis tratamientos. En los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada durante el macollaje, la dosis total de N aplicada fue de 70,5 kg ha⁻¹ (16,5 kg ha⁻¹ en la siembra + 54 kg ha⁻¹ en macollaje).

En lo que respecta a la aplicación de *Gluconacetobacter diazotrophicus*, la dosis de inoculación en semilla fue de 4 ml/kg (mililitros por cada kilogramo de semilla de trigo). La inoculación se realizó el mismo día de la siembra aplicando la dosis mencionada con una jeringa plástica dentro de una bolsa de nylon que contenía las semillas. La misma fue agitada manualmente para lograr una aplicación lo más uniforme posible.

La aplicación foliar de la mencionada bacteria se realizó al momento de macollaje del cultivo o estadio Z 2.2 según escala Zadoks (Zadoks et al. 1974) el día 27 de octubre. Se trabajó con mochila pulverizadora Giber, la cual cuenta con un sistema de bomba a presión y boquillas cono hueco. La dosis empleada fue de 2 l ha⁻¹ del producto biológico.

Se realizaron visitas periódicas al lote con el fin de monitorear la aparición de plagas que pudieran interferir en el crecimiento y desarrollo del cultivo, no observándose presencia significativa de las mismas.

La cosecha se efectuó el día 16 de diciembre de 2022 cuando el grano alcanzó la humedad óptima para cosecha, estimada en un 14% según la Norma de Calidad para la Comercialización de Trigo Pan (Norma XX) del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).

A continuación, se detallan las evaluaciones realizadas.

- Se determinó la implantación del cultivo mediante el conteo de plantas emergidas en 1 metro lineal de 2 surcos contiguos de la zona central de cada parcela. A partir de este recuento, se calculó el número de plantas logradas por metro cuadrado.
Esta variable solo se midió para evaluar los tratamientos inoculados al momento de la siembra en comparación con el tratamiento testigo, ya que la aplicación foliar se realizó con posterioridad.
- La cosecha se realizó manualmente, considerando 2 surcos por parcela de una longitud de 1 metro lineal, resultando en 2 metros lineales cosechados por parcela. Una vez obtenidas las espigas correspondientes a cada tratamiento, se procedió a realizar la trilla manual de las mismas. Se obtuvo el peso de 1000 granos (gramos) y se realizó el cálculo de rendimiento por hectárea (k ha^{-1}).
- Finalmente, se evaluó la calidad de los granos mediante muestras representativas de cada tratamiento, las cuales fueron analizadas en el laboratorio Clemos ubicado en la ciudad Villa María, provincia de Córdoba. Los parámetros examinados fueron proteína bruta (%) gluten húmedo (%) y peso hectolitrito (kg/hl). Los métodos reportados por el laboratorio fueron AOAC 2001.11 para proteína bruta, IRAM 15680:2013 para gluten húmedo y SAGyP 1075/94 para peso hectolítrico.

6.1 Análisis estadístico

Una vez concluido el ensayo experimental, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza estándar utilizando el software estadístico InfoSTAT® (Di Rienzo *et al.*, 2012). En caso de diferencias significativas entre tratamientos, las medias de estos se compararon mediante la prueba de comparaciones múltiples de Fisher ($p \leq 0,10$).

6.2 Análisis económico

Se realizó un análisis económico con el propósito de evaluar la conveniencia de cada tratamiento. Con este fin, se calculó el margen de ganancia para cada uno de ellos, teniendo en cuenta los componentes detallados a continuación.

- El ingreso total, determinado por la relación entre el rendimiento obtenido y el precio del grano de trigo.
- Los gastos totales, clasificados en gastos generales y en gastos específicos para una mejor organización del análisis.

Se tomó como referencia la información de precios de insumos, servicios y grano del año 2022 publicada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP, 2022).

7. RESULTADOS

7.1 Implantación del cultivo

El efecto de los tratamientos sobre la implantación del cultivo se muestra en la Tabla 1. Como se mencionó anteriormente, los tratamientos que incluyen inoculación foliar (GF y N+GF) no fueron considerados debido a que fueron llevados a cabo luego de ocurrida la implantación del cultivo. El valor promedio más alto registrado fue de 292 plantas m², alcanzado con el tratamiento N (fertilizado con nitrógeno). Sin embargo, no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre los cuatro tratamientos analizados (valor p 0.64 > valor alfa 0.10) (Anexos).

Tratamientos	Número de plantas/m ²	Prueba LSD Fisher
T	283	A
N	292	A
GS	272	A
N + GS	269	A

Tabla 1. Número de plantas.m⁻² promedio según tratamiento. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla. Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

7.2 Rendimiento

Los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) indicaron que los tratamientos fueron significativamente diferentes entre sí (valor p 0.0724 < valor alfa 0.10) (Anexos). La Figura 2 muestra el rendimiento promedio del trigo en función de los tratamientos aplicados. Los resultados revelaron que los mayores valores de rendimiento fueron alcanzados con los tratamientos N+GF (fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar), con un promedio de 2753.75 k ha⁻¹, y con N+GS (fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla), con un promedio de 2750.63 k ha⁻¹. Estos valores superaron al rendimiento promedio alcanzado con el tratamiento N (fertilizado con nitrógeno), mostrando una

diferencia positiva de 400 k ha⁻¹.

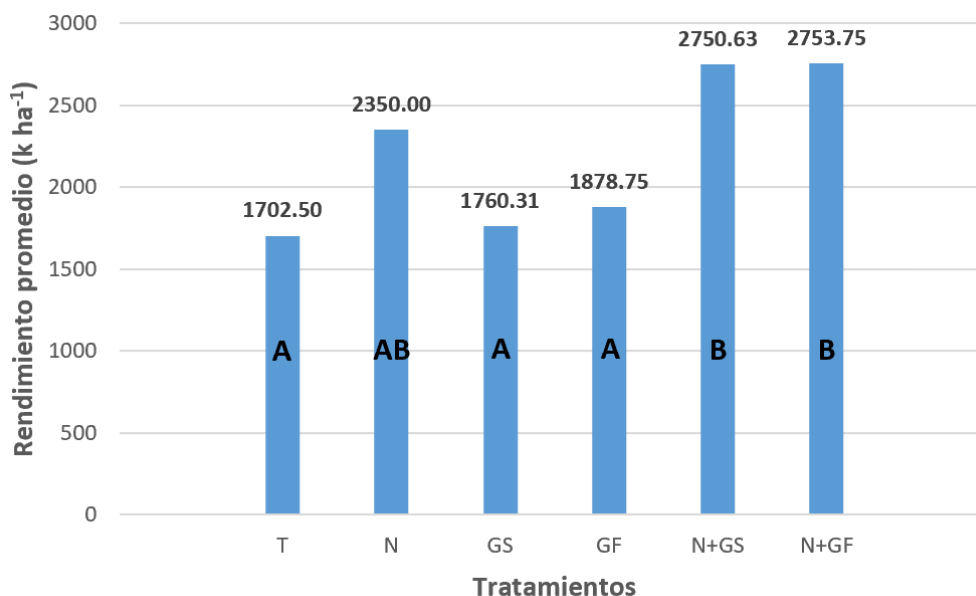


Figura 2. Rendimiento promedio (k ha⁻¹) según tratamiento. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

7.3 Peso de mil semillas

Si bien no se encontraron grandes diferencias entre los pesos de 1000 semillas de los tratamientos evaluados, el tratamiento N+GS registró el máximo valor, siendo este de 30.50 gramos, tal como se observa en la Figura 3.

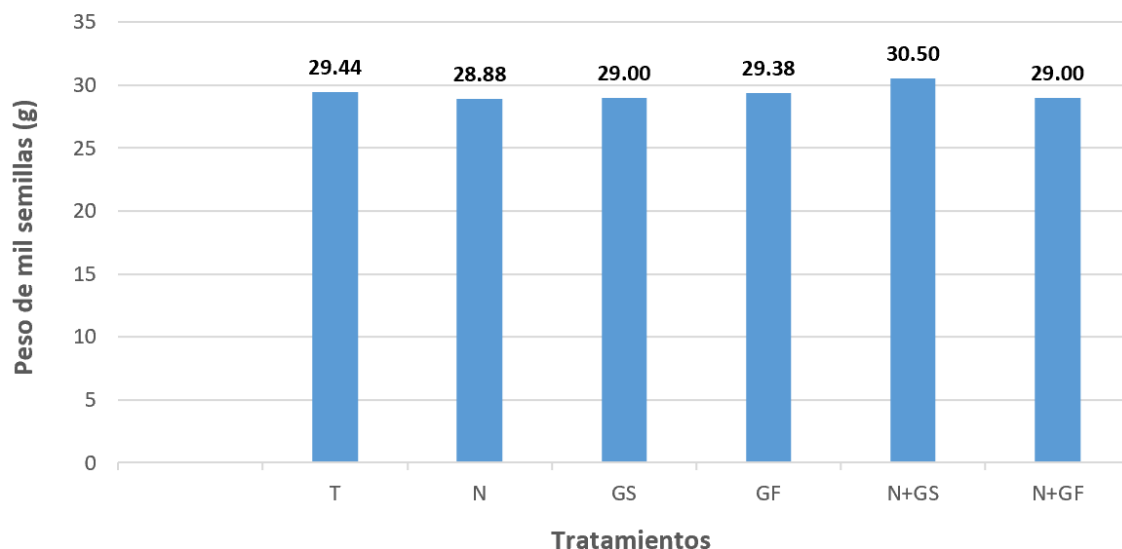


Figura 3. Peso promedio de mil semillas (g) según tratamiento. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

7.4 Calidad del grano

El porcentaje de proteína bruta, gluten húmedo y el peso hectolítrico, indicadores de la calidad del grano de trigo, se presentan en la Tabla 2. Con respecto a los porcentajes de proteína bruta, no se apreciaron diferencias importantes entre los tratamientos. Los tratamientos N y N+GS mostraron una mejora favorable para la variable gluten húmedo, con valores del 55.06 % y 55.22 %, respectivamente. El máximo valor de peso hectolítrico se registró con el tratamiento N+GF, siendo aproximadamente un 2 % mayor que el tratamiento N. En todos los tratamientos, tanto el peso hectolítrico como el contenido proteico superan los estándares de calidad establecidos en la Resolución Argentina de Comercialización de Trigo Pan (Norma XX, SENASA).

Tratamiento	Proteína bruta (%)	Gluten húmedo (%)	Peso hectolítrico (kg/hl)
T	15.63	53.30	73.60
N	15.80	55.06	73.70
GS	15.58	52.74	74.30
GF	15.84	50.03	73.80
N + GS	15.60	55.22	73.70
N + GF	15.56	49.40	75.00

Tabla 2. Parámetros de calidad del grano de trigo de acuerdo a cada tratamiento. Nomenclatura: % (porcentaje de concentración en 100 gramos de muestra). Proteína bruta expresada en por ciento al décimo sobre base 13.5% de humedad. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

7.5 Análisis económico

La Tabla 3 muestra los costos de acuerdo a cada tratamiento realizado. La Tabla 4 muestra el ingreso según cada tratamiento y el margen de ganancia resultante para cada uno de ellos. Observando ambas, los tratamientos que generan el mayor margen de ganancia son los que involucran la combinación de fertilización nitrogenada junto con la aplicación de la PGPR *Gluconacetobacter diazotrophicus* (N+GS y N+GF), siendo estas superiores a la ganancia obtenida por el tratamiento que solo involucra fertilización nitrogenada (N) en un 352 % y 278.8 %, respectivamente.

Tratamientos:	T	N	GS	GF	N+GS	N+GF
Costos generales	450.7	450.7	450.7	450.7	450.7	450.7
Fosfato monoamónico	141.9	141.9	141.9	141.9	141.9	141.9
PGPR (<i>G. diazotrophicus</i>)	0	0	8.3	26.0	8.32	26.0
Aplicación foliar	0	0	0	10.0	0	10.0

Fertilizante nitrogenado	0	160.0	0	0	160.0	160.0
Aplicación al voleo	0	10.0	0	0	10.0	10.0
Costos totales	592.7	726.7	601.0	628.7	771.0	798.7

Tabla 3. Costos totales y sus componentes, expresados en dólares por hectárea (u\$ ha⁻¹): T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

Los costos totales son la sumatoria de los costos generales, compuestos por labores (87.5 u\$ ha⁻¹) + semillas (69.6 u\$ ha⁻¹) + fitosanitarios (50.6 u\$ ha⁻¹) + gastos de cosecha y comercialización (243 u\$ ha⁻¹) y de los costos específicos que incluyen fosfato monoamónico, la PGPR *Gluconacetobacter diazotrophicus* y su aplicación foliar, el fertilizante nitrogenado Nitrodoble y su aplicación al voleo, valores expresados también en u\$ ha⁻¹. Para calcular estos costos específicos se utilizaron los siguientes precios: 946.5 u\$ t⁻¹ para el fosfato monoamónico, 13 u\$ l⁻¹ para el producto inoculante y 800 u\$ t⁻¹ para el fertilizante Nitrodoble. Estos precios fueron provistos por empresas locales para el año 2022.

Tratamientos:	T	N	GS	GF	N+GS	N+GF
Rendimiento	1.7	2.4	1.8	1.9	2.8	2.8
Ingreso	578.9	799.0	598.6	638.8	935.2	936.6
Margen de ganancia	-13.8	36.3	-2.5	10.1	164.2	137.6
Diferencial (u\$ ha ⁻¹)	-50.2		-38.8	-26.2	127.9	101.3
Diferencial (%)	-138.1		-107.0	-72.0	352	278.8

Tabla 4. Ingreso y margen de ganancia según tratamiento, expresados en dólares por hectárea (u\$ ha⁻¹). T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

El ingreso es el rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de cada tratamiento multiplicado por el precio del grano a cosecha del año 2022 ($340\ u\$s\ t^{-1}$). El margen de ganancia es la diferencia entre los ingresos y los costos de cada tratamiento. El diferencial (%) es la relación porcentual del margen de cada tratamiento con el tratamiento control N (fertilizado sin *G. diazotrophicus*), y el diferencial ($u\$s\ ha^{-1}$) la diferencia de ingreso.

8. DISCUSIÓN

Para la variable implantación, el análisis de la varianza (ANOVA) no reveló diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 1). No se han encontrado antecedentes bibliográficos que hayan abordado el efecto de la aplicación de *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre esta variable. Sin embargo, Caballero Mellado *et al.*, (1992) informaron efectos positivos de otras PGPR sobre el crecimiento temprano del cultivo de trigo. Allí, estos autores reportan efectos como una más rápida implantación, mayor crecimiento de raíces y mayor tolerancia a patógenos, entre otros. La posibilidad de que las PGPR, en general, puedan interferir positivamente en la implantación del cultivo, sumado a la capacidad de *Gluconacetobacter diazotrophicus* de solubilizar fósforo del suelo —un elemento que participa activamente en las etapas tempranas del cultivo al estimular el desarrollo radicular (Fernández, 2007), haciéndolo más competente en la captación de agua y nutrientes— sugiere que futuras investigaciones específicas sobre el efecto de *Gluconacetobacter diazotrophicus* en esta variable estarían justificadas.

En lo que respecta al rendimiento del grano, se observa que la aplicación individual de la PGPR, tanto en semilla como foliar (GS y GF), no presentó diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo (T). Asimismo, tampoco se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos N y N+GS/GF desde el punto de vista estadístico (Anexos). Sin embargo, es crucial resaltar que los tratamientos que incluyen la inoculación con *Gluconacetobacter diazotrophicus* en combinación con la fertilización nitrogenada (N+GS y N+GF) exhiben un rendimiento superior en un 17% ($400\ k\ ha^{-1}$) en comparación con el

tratamiento que únicamente involucra la fertilización nitrogenada (N) (Figura 2). Esta diferencia numérica es contundente considerando que el rendimiento promedio del ensayo fue de solo 2200 kg ha⁻¹, consecuencia de las escasas precipitaciones recibidas durante el ciclo del cultivo (Figura 1), mientras que el rendimiento promedio habitual para la zona se encuentra en torno a los 4000 kg ha⁻¹ (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). Este hallazgo representa un claro ejemplo de enfoque agronómico sustentable con resultados favorables, al haberse logrado rendimientos superiores sin necesidad de aumentar la dosis del fertilizante nitrogenado, y con ello el riesgo ambiental, sino a través del uso de un producto biológico.

Efectos positivos de la inoculación con *G. diazotrophicus* sobre el rendimiento también fueron documentados por Riggs *et al.* (2001) y Tagliaferro (2021) en los cultivos de maíz y rye grass anual, respectivamente. Riggs *et al.* realizaron una investigación de tres años en Estados Unidos, evaluando el efecto de un gran número de diversas cepas bacterianas sobre el rendimiento en grano (t ha⁻¹) de diferentes genotipos de maíz (*Zea mays*). La inoculación en semillas con la cepa *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL5 resultó en incrementos significativos en el rendimiento durante todos los años evaluados y en varios genotipos de maíz, con aumentos de hasta un 25% en comparación con los genotipos no inoculados.

Por otro lado, Tagliaferro realizó un experimento en macetas en cámara de crecimiento para evaluar el efecto de *Gluconacetobacter diazotrophicus* aplicada al follaje de rye grass anual (*Lolium multiflorum*) sobre la altura de plantas, el macollaje y la producción de materia seca. Entre los tratamientos planteados por este autor, hubo 2 que incluyeron inoculación foliar con *G. diazotrophicus* a dosis de 2 l ha⁻¹ y de 4 l ha⁻¹, y un control sin inoculación foliar. Las variables altura de plantas y producción de materia seca alcanzaron valores significativamente superiores en los tratamientos con inoculación, logrando 5.12 t ha⁻¹ de materia seca para ambas dosis frente a las 3.33 t ha⁻¹ alcanzadas con el tratamiento control. Además, la variable macollaje alcanzó su máximo valor (5 macollos) con el tratamiento que involucró la doble dosis (4 l ha⁻¹) de *G. diazotrophicus*, superando al testigo (2 macollos) y a los demás tratamientos.

La prueba LSD de Fisher no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo cual puede ser atribuido a la alta variabilidad en los datos observados (Anexos). Esta variabilidad podría estar justificada por las escasas precipitaciones registradas, que causaron gran disparidad en las parcelas a lo largo del ciclo del cultivo. Por lo tanto, es crucial considerar las condiciones climáticas como un factor influyente en la interpretación de los resultados.

Si bien el análisis estadístico de la variable rendimiento no reveló diferencias significativas entre el tratamiento N y los tratamientos N+GS/GF (Anexos), es importante mencionar y destacar los resultados observados en el análisis económico. El mayor margen de ganancia se obtuvo con el tratamiento N+GS, alcanzando 164.2 u\$s ha⁻¹, seguido del tratamiento N+GF con 137.6 u\$s ha⁻¹. Estos valores representan un aumento del 352% y 279%, respectivamente, en comparación con el margen obtenido con el tratamiento N (36.3 u\$s ha⁻¹) (Tabla 4). Este enfoque económico resulta valioso para destacar la respuesta positiva de los tratamientos en consideración, que, a pesar de no alcanzar significancia estadística, demuestran ser económicamente rentables, lo cual es de mayor importancia para el productor. Considerando que el tratamiento N+GS es el que mayor ganancia genera y, además, es sabido que la inoculación en semilla es una práctica sencilla y bien conocida por el operario y productor, se podría concluir que este tratamiento es el más conveniente.

Al comparar los tratamientos que involucran inoculación en semilla (GS y N+GS) con aquellos que involucran inoculación foliar (GF y N+GF) se observa que no hay diferencias estadísticas entre ellos (tanto GS y GF como N+GS y N+GF comparten la misma letra en la prueba LSD Fisher) (Figura 2). Por lo tanto, en base a lo estudiado en este experimento, es posible inferir que no hay efecto del método de incorporación de la PGPR sobre el rendimiento. Al igual que en este trabajo, Hungria *et al.* (2021) tampoco reportaron diferencias significativas entre la aplicación en semilla y foliar de las PGPR que ellos estudiaron sobre la producción de biomasa de *Urochloa spp*, pastura relevante en Brasil. Resultados similares fueron encontrados por Cristia *et al.* (2018) en el cultivo de poroto (*Phaseolus Vulgaris*), donde el efecto del tratamiento que involucraba la inoculación de microorganismos en semilla sobre la variable rendimiento no

difirió de los inoculados por vía foliar.

Analizando el peso de mil semillas se constató que no hubo diferencias importantes entre tratamientos (Figura 3). Sin embargo, investigaciones realizadas en trigo por Malavolta (2021) y Lorca (2022) reportan que las PGPR que ellos estudiaron evidenciaron un aumento en el peso de mil semillas en comparación al tratamiento testigo. Aunque no se ha encontrado información específica sobre el efecto de *Gluconacetobacter diazotrophicus* en esta variable, los antecedentes previamente citados con otras especies de PGPR podrían servir como indicios para llevar a cabo investigaciones adicionales que estudien el comportamiento del P1000 ante la inoculación con *G. diazotrophicus*, considerando la importancia de este parámetro en la determinación de la calidad física de la semilla (Fernández Sosa *et al.*, 2015).

El contenido de proteína y gluten en el grano de trigo son indicadores de la calidad nutricional y panadera de este cereal, respectivamente. Las proteínas son macromoléculas esenciales que participan en infinitos procesos biológicos, mientras que el gluten, un complejo proteico presente en el endosperma de algunos cereales e incluido como una fracción de la proteína bruta, es responsable de conferir atributos deseables a la masa en la elaboración de productos panaderos (Sciarini *et al.*, 2016).

Según los datos de la Tabla 2, el contenido de proteína bruta osciló entre 15.5% y 15.8 %, valores notablemente superiores al reportado en el catálogo para la variedad utilizada en este experimento, Klein Potro, que es de 12.2%. Lo mismo ocurrió con los valores de gluten húmedo observados, que estuvieron entre 49.40% y 55.22%, mientras que el reportado en catálogo es de 32.9% (trigoklein.com.ar). Esto podría explicarse por los bajos rendimientos observados a nivel de ensayo, dado que suele existir una relación inversa entre esta variable y el contenido de proteína en grano (Löffler y Busch, 1982).

Una oferta adecuada de nitrógeno durante el ciclo del cultivo es fundamental para la obtención de contenidos óptimos de gluten y de proteína en los granos de trigo (Calvo *et al.*, 2006). Sin embargo, al analizar los patrones de estas variables según tratamientos, se observa que el porcentaje de proteína bruta no

varió significativamente entre ellos, mientras que el de gluten húmedo presentó un comportamiento inconsistente con esta afirmación, pues, por ejemplo, el porcentaje más bajo observado (49.40%) se obtuvo con el tratamiento N + GF, el cual incluye fertilización nitrogenada y la aplicación de una bacteria fijadora de nitrógeno, mientras que el tratamiento testigo evidenció uno de los porcentajes más altos (53.30%). Se esperaría que, en presencia de aporte nitrogenado, ya sea directamente mediante la fertilización o indirectamente con *G. diazotrophicus*, el contenido del complejo proteico gluten fuera mayor. Sin embargo, este resultado no se observó en este experimento.

Con respecto al peso hectolítrico, todos los valores observados en la Tabla 2 superan los estándares establecidos en la Norma de Calidad para la Comercialización de Trigo Pan del SENASA, como se mencionó con anterioridad. Además, si solo se considera la variable peso hectolítrico, todos se sitúan en el “grado 3” de esta norma, que abarca cifras entre 73 y 76 kg/hl. Estos bajos valores podrían deberse a que los granos cosechados no presentaban un buen llenado (Mellado Zambrano, 1986).

La ausencia de efectos *estadísticos* significativos sobre las variables estudiadas y previamente mencionadas tras la inoculación con *Gluconacetobacter diazotrophicus* en este experimento también podría atribuirse a las condiciones climáticas adversas antes mencionadas que caracterizaron la campaña 2022. En la localidad de Junín, las precipitaciones durante ese año alcanzaron los 585 mm, de los cuales aproximadamente 200 mm ocurrieron durante el ciclo del cultivo, mientras que el promedio histórico anual es de 1065 mm (Figura 1). Bajo estas circunstancias climáticas, la performance de la bacteria podría haberse visto comprometida, ya que las poblaciones de *Gluconacetobacter diazotrophicus* tienden a reducirse drásticamente frente a periodos de escasas precipitaciones o sequía (Ríos y Dibut, 2007).

9. CONCLUSIÓN

Las hipótesis planteadas en este trabajo son parcialmente aceptadas ya que la aplicación de la PGPR *Gluconacetobacter diazotrophicus* demostró importantes mejoras económicas en la producción del cultivo de trigo en términos de rendimiento, aún no habiéndose observado diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Sin embargo, no se obtuvo evidencia suficiente para corroborar los posibles efectos positivos de esta bacteria sobre las variables implantación, peso de mil semillas y calidad del grano de este cereal.

Este estudio añade un ejemplo más a las estrategias disponibles para promover prácticas agronómicas sustentables al demostrar que es posible alcanzar producciones más que rentables mediante la incorporación de las PGPR en el manejo del cultivo de trigo. A su vez, el hallazgo de que la combinación de nitrógeno con la aplicación de *G. diazotrophicus* resultó en rendimientos considerablemente superiores a los observados con el uso de fertilización nitrogenada sugiere que, en un futuro, sería valioso poder realizar experimentos que comparen dosis convencionales de este nutriente con dosis reducidas combinadas con la bacteria fijadora de nitrógeno *G. diazotrophicus*. Esto ayudaría a determinar si la inclusión de esta PGPR en la estrategia de fertilización nitrogenada podría reducir las dosis de nitrógeno necesarias, sin perjudicar el rendimiento o incluso mejorándolo, lo cual permitiría disminuir los costos de producción y minimizar el riesgo ambiental.

Debido a las condiciones climáticas desfavorables que caracterizaron la campaña 2022 y considerando los importantes resultados arrojados por el análisis económico, sería valioso repetir este experimento en un año exento de estas circunstancias que afectaron la performance tanto del cultivo como de la bacteria, con el propósito de que ambos puedan expresar su potencial y así poder obtener resultados más precisos y concluyentes.

10. BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, R.; Gimenez, A.; Pagnanini, F.; Recondo, V.; Gangi, D.; Caffaro, M.; Berhongaray, G. 2020. Soil acidity in the Argentine Pampas: Effects of land use and management. *Soil and Tillage Research*. 196, 104434.

AgroSpray. 02 feb. 2022. Costos de los fertilizantes: razones del aumento e impacto en el agro argentino (en línea, blog). Buenos Aires, Argentina. Consultado 18 ene. 2024. Disponible en: <https://agrospray.com.ar/blog/costos-de-los-fertilizantes/>.

Alvarez, B.D.; Martínez Viera, R.; Ortega García, M.; Ríos Rocafull, Y.; Tejeda González, G.; García Gómez, R.; Fey Govín, L.; Rodríguez, J.; Simanca, M.E.; Soca U.; Jiménez, K.; López, G. 2013. Avances de la asociación *Gluconacetobacter diazotrophicus* – plantas cultivables. Interés agronómico y comercial. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT), La Habana, Cuba.

Bashan, Y.; Holguin, G.; De-Bashan, L. E. 2004. Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Canadian journal of microbiology*. 50(8): 521-577.

Bastián, F.; Cohen, A.; Piccoli, P.; Luna, V.; Bottini, R.; Baraldi, R.; Bottini, R. 1998. Production of indole-3-acetic acid and gibberellins A 1 and A 3 by *Acetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum seropedicae* in chemically defined culture media. *Plant growth regulation*. 24: 7-11.

Calvo, N. R.; Echeverría, H.; Barbieri, P.; Rozas, H. S. 2006. Nitrógeno y azufre en trigo: ¿Rendimiento y proteína? En XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy.

Cassán, F.; Perrig, D.; Sgroy, V.; Masciarelli, O.; Penna, C.; Luna, V. 2009. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated

singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *European Journal of Soil Biology*. 45: 28-35.

Cavalcante, V.A.; Dobereiner, J. 1988. A new acid-tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugarcane. *Plant Soil*. 108: 23–31.

Ceballos-Aguirre, N.; Cuellar, J. A.; Restrepo, G. M.; Sánchez, Ó. J. 2023. Effect of the Application of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and Its Interaction with Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Carrot Yield in the Field. *International Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1155/2023/6899532>

Crespo, J. M.; Boiardi, J. L.; Luna, M. F. 2011. Mineral phosphate solubilization activity of *Gluconacetobacter diazotrophicus* under P-limitation and plant root environment. *Agricultural Sciences*. 2.

Criollo, P.J.; Obando, M.; Sánchez, L.; Bonilla, R. 2012. Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) asociadas a *Pennisetum clandestinum* en el altiplano cundiboyacense. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 13(2): 189-195.

Cristia, D. D. L. C. V.; Viamontes, J. L. M.; Labarta, P. L.; Morgado, A. I.; Pérez, M. R.; Esquivel, D. P. 2018. Efficient microorganisms as biostimulators to enhance yields of *Phaseolus vulgaris* L. cultivar Delicia Rojo 364. *Agrisost*. 24(3): 152-159.

Cuadrado, B.; Rubio, G.; Santos, W. 2009. Caracterización de cepas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (con habilidad de nodulación) seleccionados de los cultivos de frijol caupi (*Vigna unguiculata*) como potenciales bioinóculos. *Revista colombiana de Ciencias Químicas y Farmacéuticas*. 38(1): 78-104.

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2012. (software estadístico). *InfoStat*. Córdoba, Argentina.

Divito, G. A.; Correndo, A.; Garcia, F. 2017. La nutrición del cultivo de trigo. En G. A. Divito & F. O. García (Eds.), Manual del Cultivo de Trigo (pp. 67-84). Primera edición.

Fernández, M. T., 2007. Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA*. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. *XLI* (2): 51-57.

Fernández Sosa, R.; Carballo Carballo, A.; Villaseñor Mir, H. E.; Hernández Livera, A. 2015. Quality of rainfed wheat seed depending on the production environment. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 6(6): 1239-1251.

Ferraris, G. 2021. Trigo, uno de los cultivos más demandantes de nutrientes (en línea, podcast). INTA Pergamino, Argentina. 5 min. 50 seg. Consultado 11 jun. 2022. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=M6IRtsAo4tc>

Hernández Montiel, L.G; Escalona Aguilar, M.A. 2003. Microorganismos que benefician a las plantas: las bacterias PGPR. *La Ciencia y el Hombre*. (1): 29-32.

Hernández-Escareño, J.J; Morales, P.G; Farías Rodríguez, R.; Sánchez-Yáñez, J.M. 2015. Inoculación de *Burkholderia cepacia* y *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre la fenología y biomasa de *Triticum aestivum* var. Nana F2007 a 50% de fertilizante nitrogenado. *Scientia Agropecuaria*. 6(1): 7-16.

Hungria, M.; Rondina, A. B. L.; Nunes, A. L. P.; Araujo, R. S.; Nogueira, M. A. 2021. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant Soil*. 463: 171–186.

Intorne, A.; Oliveira, M.; Lima, M.; Silva, J.; Olivares, F.; de Souza Filho, G. 2009. Identification and characterization of *Gluconacetobacter diazotrophicus* mutants defective in the solubilization of phosphorus and zinc. *Archives of Microbiology*. 191(5): 477-483.

Kloepper, J.W.; Lifshitz, R. and Zablotowicz, R.M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol.* 7: 39-49.

Löffler, C. M.; Busch, R. H. 1982. Selection for grain protein, grain yield, and nitrogen partitioning efficiency in hard red spring wheat 1. *Crop Science.* 22(3): 591-595.

Lollato, R. P; Ruiz Diaz, D. A.; DeWolf, E.; Knapp, M.; Peterson, D. E.; Fritz, A. K. 2019. Agronomic practices for reducing wheat yield gaps: a quantitative appraisal of progressive producers. *Crop Science.* 59(1): 333-350.

Lorca, J.P. 2022. Efecto de la inoculación con diferentes cepas de PGPR (rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas) sobre la producción del cultivo de trigo. Tesis de grado. Buenos Aires, Argentina, UNNOBA.

Malavolta, M. D. R. 2021. Evaluación del efecto de la aplicación foliar de *Bacillus thuringiensis* y *Bacillus subtilis* sobre la producción del cultivo de trigo en el Partido de Junín, Provincia de Buenos Aires. Tesis de grado. Buenos Aires, Argentina, UNNOBA.

Marangón Monteros, P.R. 2014. Evaluación de siete variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tres tipos de manejo nutricional. Tesis Ing. Agropecuario. Quito, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana.

Mellado Zambrano, M. 1986. Peso del hectolitro en trigo. *Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu.* (no. 30) p. 15-18. Consultado 15 abr. 2024. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/33909>

Meyer, J.N., Hurtado, P.; Piccinetti, C.F. 2018. Importancia del nitrógeno en la producción agrícola en zonas áridas. En *Producción científico-técnica del INTA San Luis: 2da parte* (pp. 109-127). Estación Experimental Agropecuaria San Luis, Argentina, INTA. Consultado 16 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/12936>.

Mir, L.; Chialvo, E.; Berra, O.; Pronotti, M.; Mansilla, G.; Herrero, R. 2021. Rendimiento y calidad del trigo en la región central del país Campaña 2021/22. Consultado 3 jun. 2024. Marcos Juárez, Argentina. Disponible en <https://issuu.com/graosbrasil/docs/granos145online/42>

Ozlu, E.; Kumar, S. 2018. Response of soil organic carbon, pH, electrical conductivity, and water stable aggregates to long-term annual manure and inorganic fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*. 82(5): 1243-1251.

Portugal, J.R.; Arf, O.; Ribeiro Peres, A.; de Castilho Gitti, D.; Ferreira Rodrigues, R.A.; Siviero Garcia, N.F.; Garé, L.M. 2016. *Azospirillum brasilense* promotes increment in corn production. *African Journal of Agricultural Research*. 11(19): 1688-1698.

Reis, Veronica; Olivares, Fábio; Döbereiner, J. 1994. Improved methodology for isolation of *Acetobacter diazotrophicus* and confirmation of its endophytic habitat. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 10(3): 401-405.

Restrepo, G. M.; Sánchez, Ó. J.; Marulanda, S. M.; Galeano, N. F.; Taborda, G. 2017. Evaluation of plant-growth promoting properties of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Gluconacetobacter sacchari* isolated from sugarcane and tomato in West Central region of Colombia. *African Journal of Biotechnology*. 16(30): 1619-1629.

Riggs, P. J.; Chelius, M. K.; Iniguez, A. L.; Kaeppler, S. M.; Triplett, E. W. 2001. Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria. *Functional Plant Biology*. 28(9): 829-836.

Ríos, Y.; Dibut, B. 2007. *Gluconacetobacter diazotrophicus*: un microorganismo promisorio en la elaboración de biopreparados. *Cultivos Tropicales*. 28(4): 19-24.

Saravanan, V. S.; Madhaiyan, M.; Osborne, J.; Thangaraju, M.; Sa, T. M. 2008. Ecological occurrence of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and nitrogen-fixing Acetobacteraceae members: their possible role in plant growth promotion. *Microbial ecology*. 55: 130-140.

Sciarini, L.S; Steffolani, M.E; León, A.E. 2016. El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *Agriscientia*. 33(2), 61-74.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP). 2022. Resultados agrícolas: Ingresos – Gastos, Márgenes – Resultados. Campaña agrícola 2022/2023. Buenos Aires, Argentina. Consultado 22 ene. 2024. Disponible en: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/analisis_economico/margenes/_archivos//000002_Informes%20de%20M%C3%A1rgenes%20y%20Resultados/221200_Margenes%20Resultados%20\(Diciembre%202022\).pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/analisis_economico/margenes/_archivos//000002_Informes%20de%20M%C3%A1rgenes%20y%20Resultados/221200_Margenes%20Resultados%20(Diciembre%202022).pdf)

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). 2004. Norma de Calidad para la Comercialización de Trigo Pan – NORMA XX TRIGO PAN. Resolución 1262/2004. Buenos Aires, Argentina. 17 dic.

Tagliaferro, S. 2021. Evaluación de la persistencia en filósfera y efecto promotor del crecimiento de *gluconacetobacter* sp. y *azospirillum* sp. en rye grass anual (*lolium multiflorum* lam.) en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. Tesis de grado. Buenos Aires, Argentina, UNNOBA.

Trigo Klein. 2021. Catálogo Técnico 2021. 1ª ed. Buenos Aires, Argentina: Trigo Klein. Disponible en: https://trigoklein.com.ar/wp-content/uploads/2021/03/Catalogo_2021.pdf.

Ventimiglia, L. 2019. Fertilización en trigo (en línea). INTA 9 de julio, Argentina. 4 min. 13 seg. Consultado 11 jun. 2022. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=VgPdrc1LbWE>

Zadoks, J., T. Chang, C. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of

cereals. Weed Research. 14: 415-421.

Zanettini, J.L; Puente, M. 2017. Inoculación foliar con *Azospirillum brasilense* en trigo. 25 de Mayo, Buenos Aires, Argentina. Consultado 21 jun. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inoculacion_foliar_con_azospirillum_brasilenense_en_trigo.pdf

11. ANEXOS

Implantación

Bloque	Parcela	Tratamiento	Plantas/m ²
1	1	N	275
1	2	N+GF	316
1	3	N+GS	280
1	4	T	253
1	5	GF	250
1	6	GS	274
2	7	N+GF	294
2	8	N	286
2	9	GS	308
2	10	GF	247
2	11	N+GS	242
2	12	T	261
3	13	N	327
3	14	GS	234
3	15	GF	264
3	16	N+GS	267
3	17	N+GF	286
3	18	T	327
4	19	GS	272
4	20	T	291
4	21	N	280
4	22	N+GF	225
4	23	N+GS	288
4	24	GF	275

Tabla 4. Implantación del cultivo expresada en plantas/m² de acuerdo a cada parcela y tratamiento. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G.*

diazotrophicus en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

Rendimiento

Bloque	Parcela	Tratamiento	Rendimiento (k ha ⁻¹)
1	1	N	3008.75
1	2	N+GF	3885.00
1	3	N+GS	2791.25
1	4	T	2000.00
1	5	GF	2755.00
1	6	GS	2466.25
2	7	N+GF	3087.50
2	8	N	3061.25
2	9	GS	1812.50
2	10	GF	1702.50
2	11	N+GS	2782.50
2	12	T	1123.75
3	13	N	1312.50
3	14	GS	1460.00
3	15	GF	1587.50
3	16	N+GS	3386.25
3	17	N+GF	2833.75
3	18	T	1435.00
4	19	GS	1302.50
4	20	T	2251.25
4	21	N	2017.50
4	22	N+GF	1208.75
4	23	N+GS	2042.50
4	24	GF	1470.00

Tabla 5. Rendimiento del grano (k ha⁻¹) de acuerdo a cada parcela y tratamiento. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

Peso de mil semillas

Bloque	Parcela	Tratamiento	Peso de mil semillas (g)
1	1	N	31.00
1	2	N+GF	30.25
1	3	N+GS	30.50
1	4	T	29.25
1	5	GF	30.00
1	6	GS	30.50
2	7	N+GF	30.25
2	8	N	29.50
2	9	GS	29.50
2	10	GF	28.00
2	11	N+GS	30.25
2	12	T	26.25
3	13	N	25.75
3	14	GS	27.50
3	15	GF	28.75
3	16	N+GS	31.25
3	17	N+GF	28.00
3	18	T	30.25
4	19	GS	28.50
4	20	T	32.00
4	21	N	29.25
4	22	N+GF	27.50
4	23	N+GS	30.00
4	24	GF	30.75

Tabla 6. Peso de mil semillas (g) según parcela y tratamiento. T: testigo; N: fertilizado con nitrógeno; GS: *G. diazotrophicus* en semilla; GF: *G. diazotrophicus* foliar; N+GS: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* en semilla; N+GF: fertilizado con nitrógeno + *G. diazotrophicus* foliar.

Análisis de la varianza: variable "implantación"

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Implantación (pl/m2)	16	0,13	0,00	9,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1302,25	3	434,08	0,58	0,6416
Tratamientos	1302,25	3	434,08	0,58	0,6416
Error	9041,50	12	753,46		
Total	10343,75	15			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=34,59333

Error: 753,4583 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	269,25	4	13,72 A
T3	272,25	4	13,72 A
T1	283,00	4	13,72 A
T2	292,00	4	13,72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Análisis de la varianza: variable “rendimiento”

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RENDIMIENTO	24	0,61	0,40	27,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8660579,17	8	1082572,40	2,95	0,0340
BLOQUES	3955150,72	3	1318383,57	3,59	0,0390
TRATAMIENTOS	4705428,45	5	941085,69	2,56	0,0724
Error	5512080,14	15	367472,01		
Total	14172659,31	23			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=751,43507

Error: 367472,0095 gl: 15

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T1	1702,50	4	303,10 A
T3	1760,31	4	303,10 A
T4	1878,75	4	303,10 A
T2	2350,00	4	303,10 A B
T5	2750,63	4	303,10 B
T6	2753,75	4	303,10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)