

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE *Azospirillum* sp Y *Gluconacetobacter* sp SOBRE LA PRODUCCIÓN DE SORGO GRANÍFERO EN EL PARTIDO DE JUNÍN PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Trabajo final de Grado

del alumno



Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Junín (B) 17/10/2022

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE *Azospirillum*
sp Y *Gluconacetobacter* *sp* SOBRE LA PRODUCCIÓN DE SORGO
GRANÍFERO EN EL PARTIDO DE JUNÍN PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

Trabajo Final de Grado

del alumno

SANTIAGO DAVID MERCADO

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Miguel Ángel Lavilla)
Evaluador

(Carlos Sosa)
Evaluador

(Gustavo Gonzalez Anta)
Evaluador

(Juan Pablo de Benedetto)
Co-Director

(Ricardo García)
Director

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

Junín, 17/10/2022

INDICE

| | |
|-----------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN. | 4 |
| 2.HIPÓTESIS..... | 11 |
| 2.OBJETIVOS..... | 11 |
| 4.MATERIALES Y METODOS..... | 12 |
| 5.RESULTADOS..... | 16 |
| 6. DISCUSION..... | 22 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 23 |
| 8. TRABAJOS FUTUROS..... | 23 |
| 9. BIBLIOGRAFIA..... | 25 |
| 10. ANEXOS..... | 29 |

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE *Azospirillum sp* Y *Gluconacetobacter sp* SOBRE LA PRODUCCIÓN DE SORGO GRANÍFERO EN EL PARTIDO DE JUNÍN PROVINCIA DE BUENOS AIRES

1. INTRODUCCIÓN.

El sorgo es un cereal de verano perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae) y al género Sorghum.

Según USDA (United States Department of Agriculture) la producción Mundial de Sorgo 2021 fue de 61.62 millones de toneladas (Tn), teniendo en cuenta que la producción de Sorgo del año 2020 fue de 57.96 millones de toneladas, se produjo un incremento de 6.31% en la producción de sorgo alrededor del mundo en el período citado (Bernardi, 2019)

Argentina participa aproximadamente en un 5.2 % de la producción mundial de sorgo, siendo el 8º productor mundial (3.2 millones de toneladas) en la campaña 2020/2021 según el USDA (Bernardi, 2019).

Con unas 950.000 hectáreas sembradas, la cosecha de sorgo 2020-2021 arrojó un rinde promedio de 3.9 Tn/ha y 3.3 Tn/ha (Venini, 2021).

Estos datos muestran la importancia del cultivo en el mundo y la relevancia de Argentina como productor. Además, el sorgo constituye un cultivo que, por su versatilidad es una alternativa para zonas de ambientes de bajos recursos, y responde eficientemente a ambientes fértiles y húmedos. Es más eficiente que el maíz en el uso de agua y nutrientes y posee menor costo de producción (Giorda y Alegre, 2015).

Para poder alcanzar altos rendimientos productivos, es necesario un aporte adecuado de nutrientes y los suelos de nuestra región poseen en general, deficiencias en la disponibilidad natural de dos macronutrientes esenciales: el fósforo (P) y el nitrógeno (N) (Darwich, 2006).

El P del suelo proviene en su mayor parte de la meteorización de minerales y se encuentra principalmente en la materia orgánica (Darwich, 2006). Aunque los cultivos absorben P durante todo el ciclo, el período crítico es en el

comienzo, entre los 5 y los 35 días posteriores a la emergencia. Es por esto que la aplicación de fertilizantes fosfatados se realiza habitualmente en el momento de la siembra.

El N se encuentra principalmente en la materia orgánica, representando entre un 0.03 y un 0.35 % de la misma, hallándose bajo formas químicas que deben ser transformadas a compuestos absorbibles por la comunidad microbiana del suelo (Darwich, 2006).

Una vía para asegurar la presencia de los nutrientes necesarios para el cultivo es facilitar la interacción de la planta con el microbioma asociado, que tiene el potencial de reducir la incidencia de enfermedades en las plantas, aumentar los rindes, reducir la necesidad de insumos químicos, lo que resulta en prácticas agrícolas más sostenibles. (Peticari, [2018])

El empleo de PGPM (Plant growth-promoting microorganisms), es una posibilidad con la que cuenta el productor para mejorar el rendimiento de los cultivos, y su costo de aplicación es relativamente bajo alcanzándose normalmente un retorno económico [peso ganado (Kg) / peso invertido (\$)], difícil de ser logrado con otras prácticas.

La forma convencional de realizar la inoculación es sobre las semillas. Sin embargo, la efectividad al incorporar bacterias de este modo, dependerá de las características edáficas (pH, humedad, materia orgánica, nutrientes, entre otros), de la interacción con compuestos aplicados sobre las semillas (fungicidas y/o insecticidas), de la competencia con la microbiota nativa, la capacidad que tengan las bacterias utilizadas para colonizar las raíces, y el tiempo que pase desde que se realizó la inoculación hasta que se realiza la siembra de dichas semillas. La inoculación foliar, en cambio, podría considerarse una tecnología innovadora que permitiría una independencia de las condiciones citadas. (Zanettini y Puente, 2017).

Sin embargo, no se han encontrado trabajos sobre la inoculación foliar en el cultivo de sorgo, por lo cual su estudio puede brindar información de interés para el futuro de este cultivo

Por no haber encontrado antecedentes bibliográficos, de inoculación foliar en sorgo granífero, y teniendo en cuenta que *Gluconacetobacter sp.* y *Azospirillum sp.* han dado resultados positivos en cuanto al incremento del rendimiento en otras gramíneas como maíz o trigo, se ha decidido investigar el efecto de la aplicación foliar de las cepas mencionadas en el cultivo de sorgo granífero.

1.1 Marco teórico

Colonización microbiana de las plantas

El tallo, las hojas, las flores y los frutos de las plantas son el hábitat de poblaciones microbianas epífitas. Bacterias heterótrofas y fotosintéticas, hongos (particularmente levaduras), líquenes y algunas algas se desarrollan regularmente en estas superficies aéreas de las plantas (Atlas & Corzo, 2002).

El área adyacente a la superficie de las hojas de las plantas se conoce como filósfera, y el hábitat que se encuentra directamente sobre la superficie de la hoja es el filoplano (Atlas & Corzo, 2002). La filósfera es considerada como un ambiente hostil para la colonización microbiana, debido a las rápidas fluctuaciones en las condiciones físicas y nutricionales, configurando un hábitat dinámico con variables ambientales como la temperatura, humedad relativa, lluvia, vientos y radiación solar, que pueden diferir a lo largo de la superficie foliar por diferentes causas como posición de la hoja y facilidad de difusión, etc. (Andrews, 1992; Lindow & Brandl, 2003).

Los nutrientes del filoplano que son utilizados por los microorganismos para su desarrollo, pueden originarse por aporte endógeno de la planta, como es el caso de los exudados de las hojas que se estiman en un rango menor a los 100 µg/ml, o exógenamente, a partir de partículas de suelo, polvo, iones, solutos aportados por la lluvia, muerte de microorganismos y excremento de insectos (Andrews, 1992).

La composición, cantidad y calidad de los nutrientes, entre los que se incluyen diversos carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos, azúcares, alcoholes, elementos minerales traza, vitaminas y hormonas, al igual que compuestos antimicrobianos tales como fenoles y terpenoides, varían según la especie de la planta hospedera, la edad de la hoja, su estado fisiológico y nutricional, al

igual que la presencia de tejido dañado, modificando el crecimiento de una determinada población de microorganismos (Andrews, 1992; Jacques, Kinkel & Morris, 1994; Yang, Crowley, Boneman & Keen, 2000).

Los nutrientes, no sólo son importantes por ser sustrato para la población microbiana sino también por sus efectos sobre la síntesis de antibióticos y sideróforos sobre el filoplano generados por la Microbiota colonizante. El desarrollo de la población depende de factores como régimen de humedad y época del año, y se considera que la mayor concentración de nutrientes se encuentra en la zona abaxial de las hojas y frecuentemente sobre venas y paredes de las células epidérmicas (Andrews, 1992; Lindow & Andersen, 1996).

La colonización de la filósfera, se realiza en función del inóculo disponible en el ambiente y el hospedero. Parece haber una temprana preponderancia de bacterias, seguida por un agudo incremento en el número de levaduras y eventualmente un incremento en hongos filamentosos. Este patrón es afectado por efectos locales tales como el grado de infestación de insectos, prácticas de cultivo y eventos climáticos (Andrews, 1992; Yang, Crowley, Boneman & Keen, 2000).

En términos generales, el patrón de colonización sobre las hojas es localizado y heterogéneo, los sitios preferidos son a lo largo de las venas y en las ranuras de las paredes de las células epidérmicas, posiblemente por la concentración de nutrientes, protección a la erosión y la retención de agua. Cuando bacterias y levaduras crecen en hojas en cultivo, después de 30 horas se presenta una diferenciación en la cual las levaduras colonizan las paredes anticlinales principalmente sobre la lámina, mientras que las bacterias se concentran sobre las paredes anticlinales a lo largo de las venas, estomas y cerca de las glándulas (Andrews, 1992).

En términos de biodiversidad, los ecologistas microbianos han dedicado mucho esfuerzo en investigar la diversidad de microorganismos presentes en la superficie de las hojas y al estudio de las interacciones entre las especies. En diversos trabajos de investigación se han reportado más de 85 especies diferentes de microorganismos en 37 géneros de plantas, entre los que se encuentran: centeno, aceituna, remolacha y trigo (Yang, Crowley, Boneman & Keen, 2000).

Además de los factores ya mencionados, que intervienen en la colonización de la superficie foliar y por ende en la biodiversidad, se debe tener en cuenta que este proceso implica una dinámica de inmigración, emigración, crecimiento y muerte de los microorganismos, en la que se incluye la velocidad de multiplicación, para mantener la población (Jacques, Kinkel & Morris, 1994).

Por otra parte, la influencia del inóculo disponible presente en el aire, juega un papel muy importante como fuente de inmigración hacia nuevas hojas. En un estudio realizado por Jacques y colaboradores (1994), en el que se evaluaron las diferentes edades y posiciones de las hojas, respecto a los microorganismos presentes, se encontró que estos dos factores influyen tanto en la densidad de población como en la diversidad, ya que las hojas viejas soportan una cantidad mayor de microorganismos que las hojas nuevas, y el número de estos va aumentando con la edad de la planta. Por otro lado, en las hojas internas se ha reportado una menor densidad de microorganismos que la que se encuentra en la parte externa.

Microorganismos a aplicar como promotores de crecimiento

Consideramos dos géneros bacterianos que nos resultan de interés por su potencial endofítico y la capacidad para la fijación de N entre otros mecanismos promotores del crecimiento: *Azospirillum sp* y *Gluconacetobacter sp*.

Azospirillum sp.

El género *Azospirillum* está integrado por bacterias Gram negativas, diazotróficas de vida libre, con capacidad de colonizar los tejidos internos de las plantas (Bashan and Levanony, 1990). Es uno de los géneros más estudiados por su capacidad de mejorar el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento en granos en numerosas especies cultivadas (Dardanelli et al., 2008).

La interacción de las plantas con *Azospirillum*, contribuye a la nutrición en la raíz y suministro de N a la planta, además de sintetizar fitohormonas que promueven el crecimiento y cambios morfológicos y fisiológicos de la raíz,

donde ejercen biocontrol, y mejoran el aprovechamiento de agua y nutrientes. (Dardanelli et al., 2008).

Gluconacetobacter sp.

Son bacilos Gram negativos aeróbicos. pertenecientes al phylum Proteobacteria capaces de desarrollar en forma endófito en las plantas. La especie *Gluconacetobacter diazotrophicus* se aisló por primera vez en 1988 (Cavalcante y Dobereiner, 1988), asociada al cultivo de la caña de azúcar. Es un microorganismo con capacidad para fijar N atmosférico (Prabudoss, 2011), como así también, producir ácido indol acético (AIA). Así mismo, estos géneros de bacterias solubilizan nutrientes minerales como el P y el zinc (Zn) (Patil et al., 2011). Estos microorganismos además son controladores biológicos de organismos fitopatógenos (mecanismos directos e indirectos de promoción) (Logeshwarn et al., 2011).

Existen evidencias científicas que demuestran que la inoculación con microorganismos benéficos como *Gluconacetobacter sp.* y *Azospirillum sp.* en cultivos intensivos y extensivos han dado resultados favorables en el desarrollo de las plantas, aumentando la cantidad de nutrientes asimilables para el cultivo, entre otros procesos. (Puente et al., 2018).

Gluconacetobacter sp., Dibut et al. (2005), han hecho estudios sobre diferentes cultivos dando un resultado positivo en el desarrollo de los diferentes órganos de estos, mejorando el crecimiento y los rindes. Dichos cultivos fueron maíz, caña de azúcar, melón, calabaza y papa (entre otros de importancia económica).

Tagliaferro (2021) demostró que la aplicación foliar de *Gluconacetobacter sp.* en *Rye grass* generó una mayor cantidad de materia seca por hectárea(ha) que el resto de los controles, de la misma manera lo hizo la aplicación de una mezcla de *Gluconacetobacter sp.* y *Azospirillum sp* con una dosis de 4 litros (l)/ha, como puede verse en la tabla 1 y la figura 1, donde se muestran los resultados obtenidos para distintos parámetros agronómicos obtenidos frente a la aplicación foliar de distintas dosis de *Gluconacetobacter sp.* y *Azospirillum sp* y su mezcla.

| TRATAMIENTOS | Tn (mat.seca)/ha | Altura de plantas (cm) | N° Macollos |
|---|---------------------|---------------------------|----------------|
| Testigo (T1) | 3,33 a | 42,1 a | 2 a |
| Azospirillum 2 lt/ha (T2) | 4,71 b | 48,5 b | 2 a |
| Azospirillum 4 lt/ha (T3) | 4,69 b | 49,0 b | 3 a b |
| Gluconacetobacter 2 lt/ha (T4) | 5,12 c d | 50,3 b | 3 a b |
| Gluconacetobacter 4 lt/ha (T5) | 5,12 c d | 54,4 c | 5 b |
| Azospirillum/Gluconacetobacter 2 lt/ha (T6) | 4,95 b c | 50,3 b | 4 b |
| Azospirillum/Gluconacetobacter 4 lt/ha (T7) | 5,45 d | 50,5 b | 4 b |

Tabla 1. Promedio de las repeticiones para cada tratamiento, de tres parámetros agronómicos medidos luego de la aplicación foliar en Rye Grass de distintas dosis de *Gluconacetobacter sp.* y *Azospirillum sp.* por separado, en la mezcla y los controles. Letras distintas indican resultados significativos con ($p < 0,05$).

Ríos et al. (2008) demostraron que la aplicación con *Glucocacetobacter sp.* permitió que se incremente la altura de parte aérea de la planta, largo y diámetro de la raíz, número de hojas, peso fresco de la raíz y de las hojas en el cultivo de la zanahoria como puede observarse en la tabla 2.

| Variante | Largo raíz | Diámetro raíz | Altura parte aérea | N° hojas | Peso fresco raíz | Peso fresco hojas |
|------------------|---------------|------------------|--------------------------|----------|------------------------|-------------------------|
| Testigo | 23.2 | 2.12 | 49.8 b | 7.4 b | 32.7 b | 26.38 b |
| Inoculada | 25.0 | 2.70 | 52.0 a | 9.0 a | 77.14 a | 45.76 a |
| Esx | 1.27 | 0.41 | 1.56 | 1.13 | 31.42 | 13.70 |
| CV (%) | 5.28 | 17.02 | 3.06 | 13.79 | 57.22 | 37.99 |

Tabla 2. Efecto de la aplicación de *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre el cultivo de la zanahoria al finalizar el ciclo del cultivo. Letras distintas indican resultados significativos con ($p < 0,05$).

En lo que refiere a *Azospirillum* sp. diferentes trabajos que indican una respuesta positiva al rendimiento de cultivos como maíz, arroz y trigo mediante la aplicación foliar (Zanettini y Puente,2017).

En una evaluación conjunta de 32 ensayos realizados en la región Pampeana, Ferraris & Faggioli (2013) observaron que el cultivo de trigo inoculado en semilla produjo en promedio 297 kg/ha más que el testigo.

En cuanto al sorgo granífero, hay evidencias científicas que indican un incremento en el rendimiento tras la inoculación en semilla con *Azospirillum* sp. como surge del artículo publicado por Punos et al. (2009) "Utilización de inoculantes conteniendo *Azospirillum* en el cultivo de sorgo granífero".

2. HIPOTESIS.

2.1 La aplicación vía foliar de *Azospirillum* sp aumenta el rendimiento del cultivo de sorgo granífero.

2.2 La aplicación vía foliar de *Gluconacetobacter* sp aumenta el rendimiento del cultivo de sorgo granífero.

2.3 La aplicación vía foliar de *Azospirillum* sp y *Gluconacetobacter* sp aumenta el rendimiento del cultivo de sorgo granífero.

3. OBJETIVOS.

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Determinar el efecto de la aplicación foliar de *Azospirillum* sp y *Gluconacetobacter* sp sobre los parámetros de rendimiento en granos en el cultivo de sorgo granífero.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

3.2.1 Evaluar el efecto de *Azospirillum* sp sobre los parámetros de rendimientos del cultivo.

3.2.2 Evaluar el efecto de *Gluconacetobacter* sp sobre los parámetros de rendimientos del cultivo.

3.2.3 Evaluar si se produce efecto sinérgico, con la aplicación de la mezcla de *Azospirillum* sp y *Gluconacetobacter* sp sobre los parámetros de rendimientos del cultivo.

4.MATERIALES Y METODOS.

4.1 SITIO EXPERIMENTAL

El ensayo se realizó en el campo experimental de la UNNOBA “Las Magnolias” ubicado en el km 147 de la RN 188 a 18 km de la ciudad de Junín (Bs As) ($38^{\circ}24'58.64''S$; $60^{\circ}52'31.02''O$) (VISOR GEOINTA).

El establecimiento, de 84 hectáreas cuenta con un suelo Hapludol típico, perteneciente a la Serie Junín, tiene una capacidad de uso IIIes y un índice de productividad de 62.

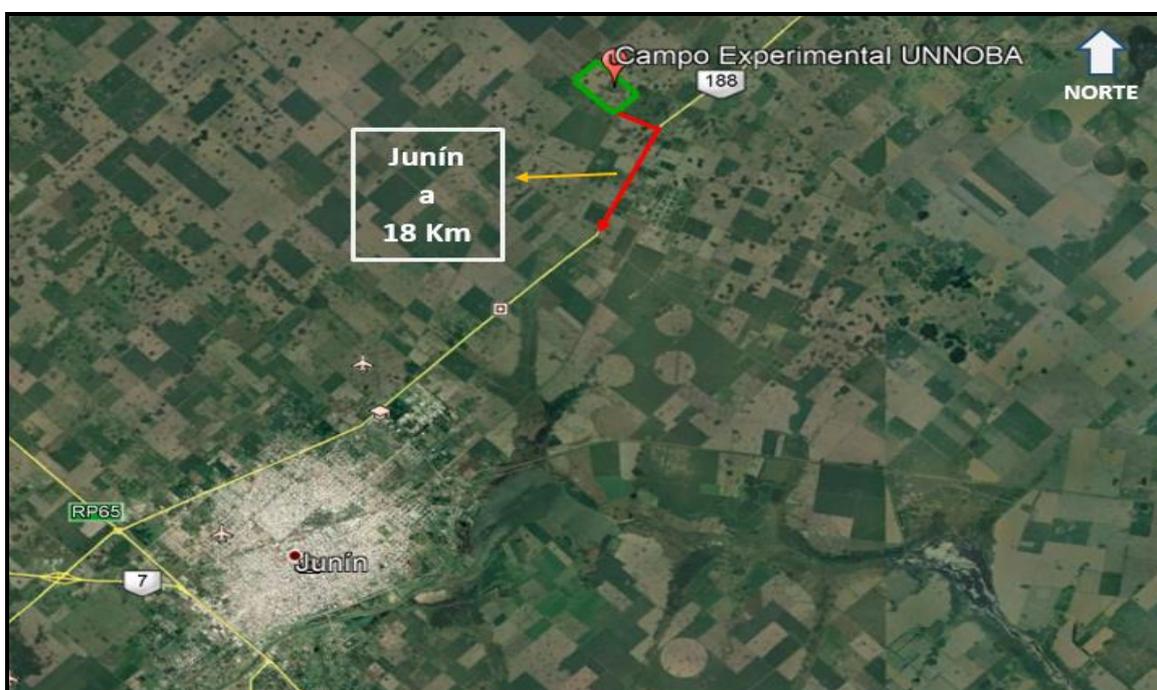


Figura 1. Sitio de ensayo (Campo experimental “Las Magnolias”, UNNOBA).

4.2 SIEMBRA

En el desarrollo de este proyecto, la calidad de la semilla juega un rol fundamental. Por tal motivo, se seleccionó de acuerdo a su calidad: pureza física, peso de mil semillas, porcentaje de humedad, germinación y estado sanitario.

De acuerdo a las malezas presentes en el lote, un mes previo a la siembra se realizó una aplicación de atrazina (2 kg/ha) + glifosato (2 l/ha) + s-metolachlor (2 l/ha).

La siembra se realizó el día 26-DIC-2018 con una densidad de 12 semillas/metro y una distancia entre surcos de 0,52 metros a una profundidad de siembra de 3 cm.

También, se llevó a cabo una fertilización de base. En la misma se utilizó 100 Kg de una mezcla física de ACA, compuesta por MAP (fosfato monoamónico) 60%, SSP (superfosfato simple) 40%. El contenido aportado de cada elemento por fuente es N7, P39, S5, Ca9.

El híbrido utilizado fue el provisto por la empresa ACA (Asociación de Cooperativas Argentina) que posee convenio con el campo experimental. Se utilizó el sorgo ACA 563, de ciclo medio y alto contenido de taninos.

4.3 DISEÑO DEL ENSAYO Y PROCEDIMIENTO.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, de cuatro tratamientos con cinco bloques (repeticiones). Por factores correspondientes al lote, no se han podido evaluar los datos de uno de los bloques (5). Por dicho motivo, los datos analizados fueron relevados de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza y test de comparaciones múltiples Tukey, utilizando el software profesional Infostat® versión 2018.

Diseño en bloques completamente al azar:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = respuesta observada en el j-ésimo bloque de la i-ésimo tratamiento evaluado.

μ = media general.

A_i = componente de la variancia debido a los tratamientos.

B_j = componente de la variancia debido a bloques.

ε_{ij} = componente de la variancia debido al error experimental.

TRATAMIENTOS

T: Testigo.

A: Aplicación foliar con *Azospirillum* sp.

G: Aplicación foliar con *Gluconacetobacter* sp.

M: Aplicación foliar con mezcla de los promotores.

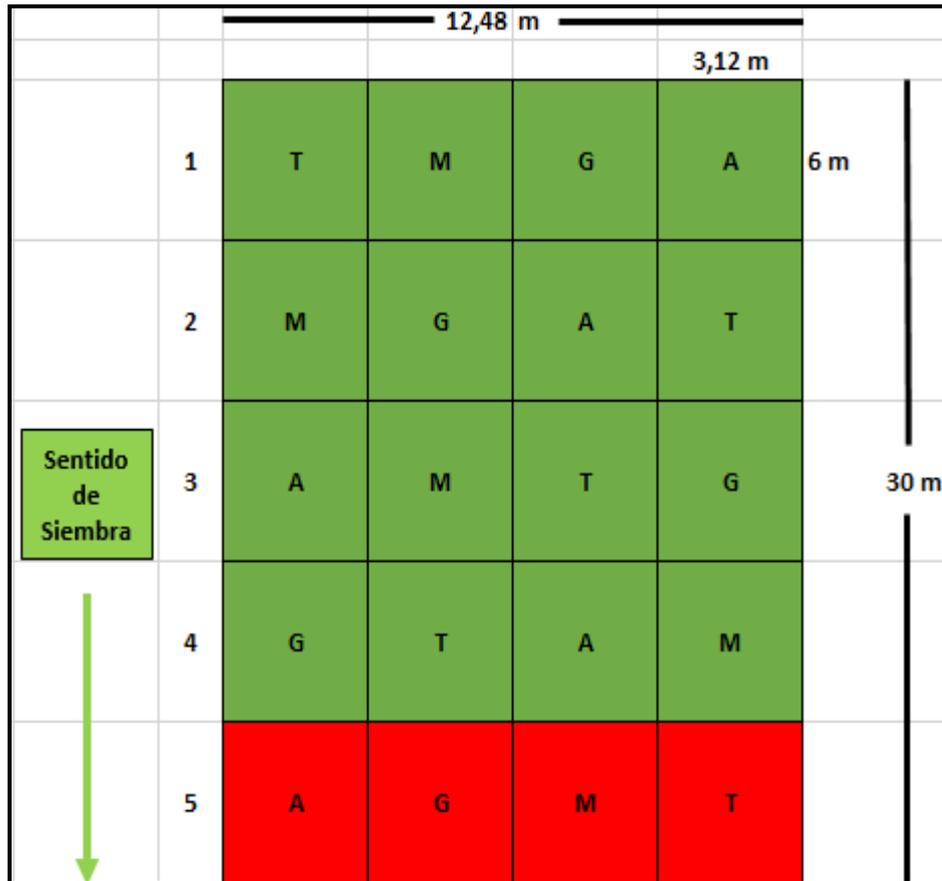


Figura 2. Diseño de ensayo.

4.4 INOCULACION.

La concentración de la suspensión de ambos promotores de crecimiento aplicados fue de 10^9 UFC/ml.

El material biológico (ene-2) fue provisto por el laboratorio ARBO S.R.L.

Se realizó la aplicación foliar con *Azospirillum* sp y *Gluconacetobacter* sp y la mezcla de ambos en el periodo crítico, de máximo requerimiento de nutrientes, que corresponde a vaina embuchada en la hoja bandera, que es la etapa cinco del estado fenológico de este cultivo (escala según Vanderlip, R y Reeves, H.E, 1972).

Estados vegetativos - reproductivos

Escala Según Vanderlip, R. y Reeves, H. E, 1972

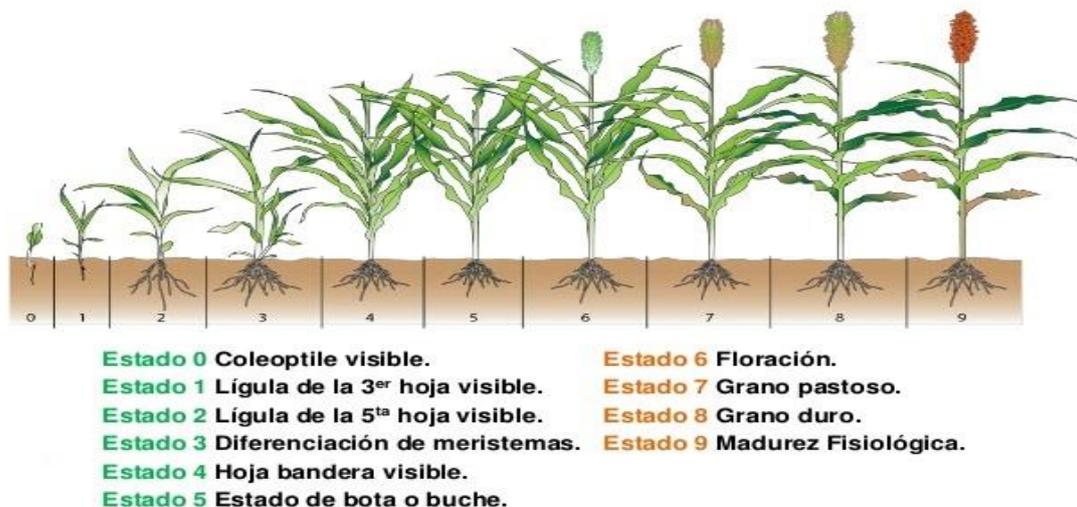


Figura 3. Escala fenológica del sorgo, estadios vegetativos y reproductivos (ilustración extraída de Toledo, 2018)

Para llevar a cabo el proceso de inoculación, se tuvieron en cuenta consideraciones de importancia, tales como: realizarla a temperaturas moderadas (no mayores a 30°C), utilizar mochila pulverizadora limpia de agroquímicos con dosificación y mezclado homogéneo.

En cuanto a la dosificación, para el tratamiento con *Azospirillum* sp, se aplicó a razón de 2 litros de inoculante por hectárea; utilizándose la misma dosis para el tratamiento con *Gluconacetobacter* sp. En cuando al tratamiento combinado, la dosis fue de 2 litro de *Azospirillum* sp más 2 litro de *Gluconacetobacter* sp por hectárea.

Se aplicó por aspersión a razón de 100 litros por ha de manera de mojar en forma homogénea la superficie foliar, para ello se diluyó el inoculante en proporción 1/50, para que los 100 litros aplicados por ha, contengan 2 litros de inoculante. Se calculó, según el área a aplicar, el volumen y la dilución necesaria. El agua que se utilizó para las diluciones del inoculante fue agua potable del campo experimental.

4.5 TOMA DE DATOS.

Parámetros de rendimiento:

1- Rendimiento del cultivo en kg/ha (se cosechó una superficie de 1m²).

2- N° panojas/ha: Se contaron el número de panojas en la superficie cosechada, y luego se realizó el cálculo por ha.

3- Peso de mil granos: Se tomó una muestra de mil granos y se pesaron en balanza granataria.

4- N° granos/panoja: Se tomó una muestra de panojas representativas del tratamiento y se pesó cada una de ellas estimándose el número de granos por cálculo en base al peso de mil granos.

Las panojas se trillaron manualmente en laboratorio lo más rápido posible luego de la cosecha para evitar variaciones de humedad y problemas con patógenos.

5.RESULTADOS.

5.1 Rendimiento del cultivo en kilogramos por hectárea.

| Rendimiento del cultivo en Kg/ha | | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|-------|-------------|
| | BLOQUES | | | | |
| Tratamientos | 1 | 2 | 3 | 4 | PROMEDIO |
| Azospirillum | 8010 | 8990 | 8390 | 9820 | 8802,5 19% |
| Gluconacetobacter | 11440 | 9440 | 9390 | 10250 | 10130,0 37% |
| Mezcla | 8430 | 8260 | 8850 | 8850 | 8597,5 16% |
| Testigo | 7690 | 7190 | 7000 | 7790 | 7417,5 |

Tabla 3. Valores del rendimiento del cultivo en cada bloque y el promedio en kg/ha. En rojo el incremento porcentual respecto del testigo.

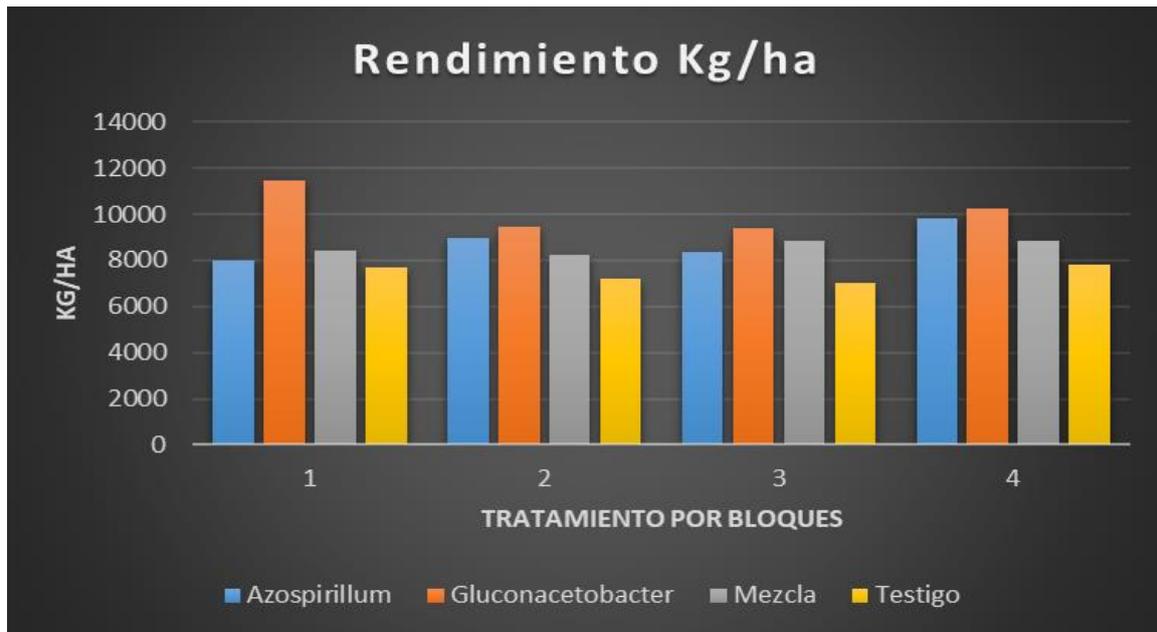


Figura 4. Rendimiento del cultivo para los diferentes tratamientos en los bloques de estudio.

Análisis de la varianza para el rendimiento del cultivo.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|----|----------------|-------------------|------|
| RTO KG/HA | 16 | 0,74 | 0,67 | 7,63 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|-------------|----|------------|-------|---------|
| Modelo. | 14821118,75 | 3 | 4940372,92 | 11,12 | 0,0009 |
| Trat | 14821118,75 | 3 | 4940372,92 | 11,12 | 0,0009 |
| Error | 5331425,00 | 12 | 444285,42 | | |
| Total | 20152543,75 | 15 | | | |

Tabla 4. Análisis de la varianza para el rendimiento del cultivo.

Test para el rendimiento del cultivo: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1026,91835

Error: 444285,4167 gl: 12

| Trat | Medias | n | E.E. | |
|-------------------|----------|---|--------|---|
| Testigo | 7417,50 | 4 | 333,27 | A |
| Mezcla | 8597,50 | 4 | 333,27 | B |
| Azospirillum | 8802,50 | 4 | 333,27 | B |
| Gluconacetobacter | 10130,00 | 4 | 333,27 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 5. Test de Fisher para el rendimiento del cultivo.

5.2 Promedio del número de panojas por hectárea para cada tratamiento.

| Panojas/ha | |
|--------------------------|--------------------|
| Tratamiento | Promedio |
| <i>Azospirillum</i> | 247.500 19% |
| <i>Gluconacetobacter</i> | 255.000 23% |
| Mezcla | 260.000 25% |
| Testigo | 207.500 |

Tabla 6. Valores promedio del número de panojas por hectárea. En Rojo el incremento porcentual respecto del testigo.

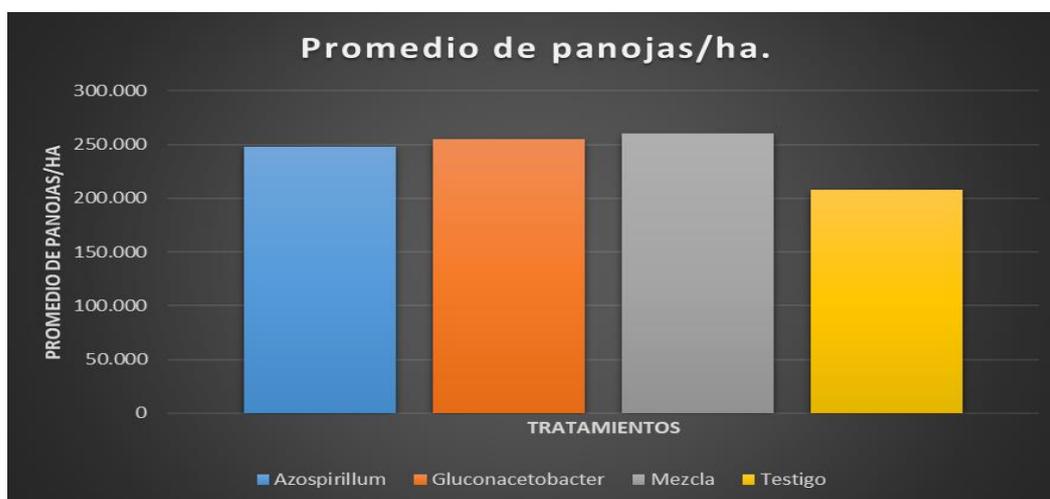


Figura 5. En el gráfico se observa el promedio de número de panojas por hectárea para los diferentes tratamientos.

Análisis de la varianza para el n° de panojas por hectárea.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|----|----------------|-------------------|-------|
| PANOJAS/HA | 16 | 0,34 | 0,17 | 12,76 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|----------------|----|---------------|------|---------|
| Modelo. | 5750000000,00 | 3 | 1916666666,67 | 2,04 | 0,1614 |
| Trat | 5750000000,00 | 3 | 1916666666,67 | 2,04 | 0,1614 |
| Error | 11250000000,00 | 12 | 937500000,00 | | |
| Total | 17000000000,00 | 15 | | | |

Tabla 7. Análisis de la varianza para el n° de panojas por hectárea.

Test para el n° de panojas por hectárea: LSD Fisher Alfa=0,05
DMS=47172,67704

Error: 937500000,0000 gl: 12

| Trat | Medias | n | E.E. | | |
|-------------------|-----------|---|----------|---|---|
| Testigo | 207500,00 | 4 | 15309,31 | A | |
| Azospirillum | 247500,00 | 4 | 15309,31 | A | B |
| Mezcla | 250000,00 | 4 | 15309,31 | A | B |
| Gluconacetobacter | 255000,00 | 4 | 15309,31 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 8. Test de Fisher para el n° de panojas por hectárea.

5.3 Promedio del peso de mil semillas para cada uno de los tratamientos.

| Peso de mil semillas (gramos) | |
|-------------------------------|------------------|
| Tratamientos | Promedio |
| Azospirillum | 23,00 13% |
| Gluconacetobacter | 22,14 9% |
| Mezcla | 21,61 7% |
| Testigo | 20,28 |

Tabla 9. Valores promedio del peso de mil semillas. En Rojo el incremento porcentual respecto del testigo.

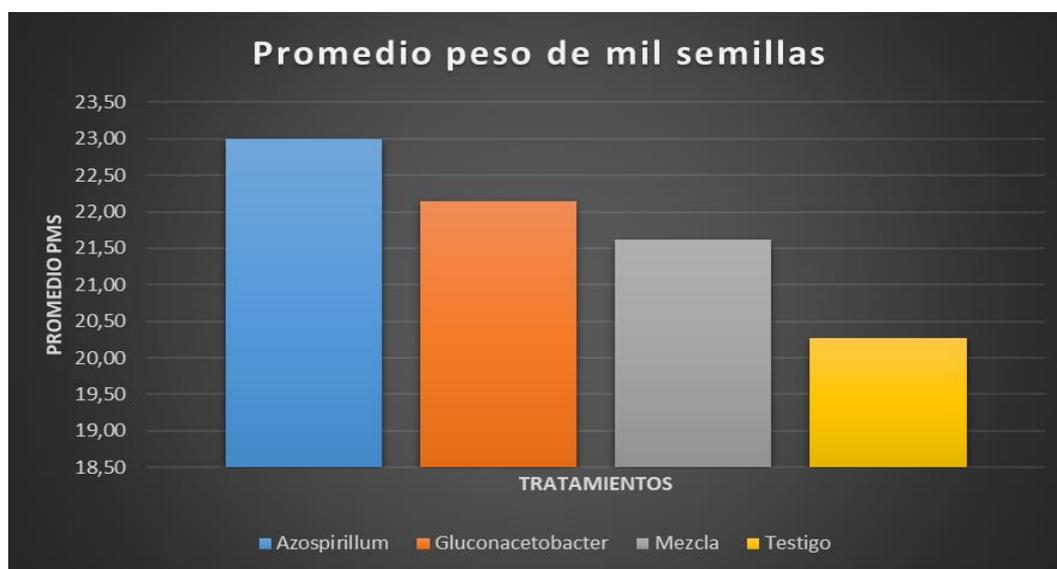


Figura 6. Peso promedio de mil semillas para los diferentes tratamientos.

Análisis de la varianza para el peso de mil semillas.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------|----|----------------|-------------------|-------|
| PESO DE MIL | 16 | 0,19 | 0,00 | 10,71 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo. | 15,62 | 3 | 5,21 | 0,96 | 0,4436 |
| Trat | 15,62 | 3 | 5,21 | 0,96 | 0,4436 |
| Error | 65,16 | 12 | 5,43 | | |
| Total | 80,78 | 15 | | | |

Tabla 10. Análisis de la varianza para el peso de mil semillas.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,59008

Error: 5,4300 gl: 12

| Trat | Medias | n | E.E. |
|-------------------|--------|---|--------|
| Testigo | 20,28 | 4 | 1,17 A |
| Mezcla | 21,61 | 4 | 1,17 A |
| Gluconacetobacter | 22,14 | 4 | 1,17 A |
| Azospirillum | 23,00 | 4 | 1,17 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 11. Test de Fisher para el peso de mil semillas.

5.4 Promedio del número de granos por panoja para cada uno de los tratamientos.

| Granos por panoja | |
|-------------------|--------------------|
| Tratamiento | Promedio |
| Azospirillum | 1478,24 14% |
| Gluconacetobacter | 1834,12 41% |
| Mezcla | 1577,36 21% |
| Testigo | 1301,91 |

Tabla 12. Valores promedio del número de granos por panoja. En rojo el incremento porcentual respecto del testigo.

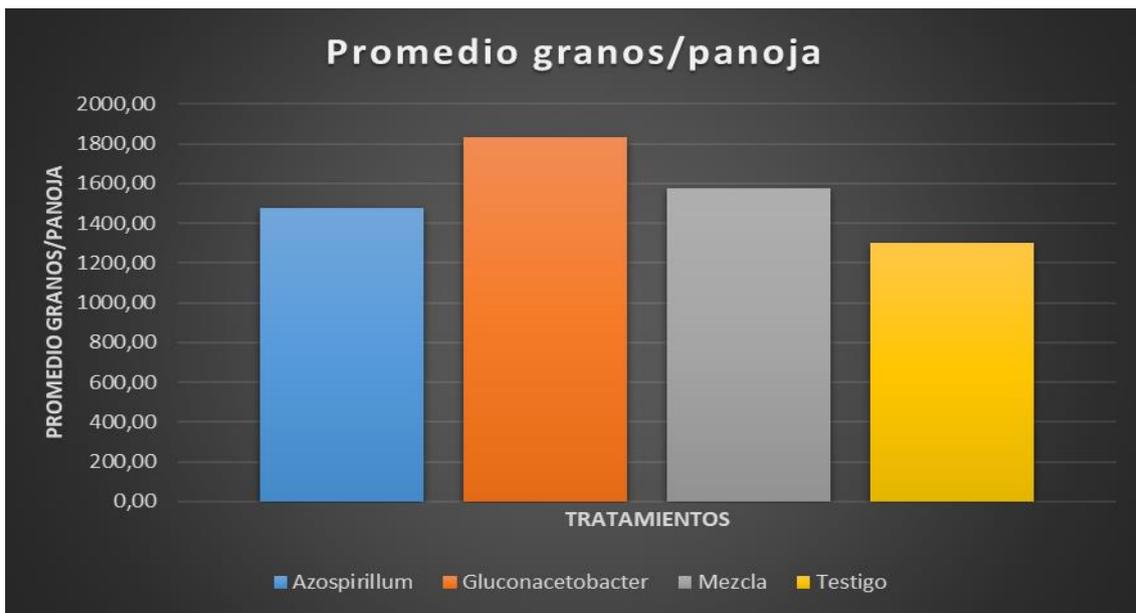


Figura 7. Promedio del número de granos por panoja para los diferentes tratamientos.

Análisis de la varianza para el n° de granos por panoja.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|---------------|----|----------------|-------------------|------|
| GRANOS/PANOJA | 16 | 1,00 | 1,00 | 0,65 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|-----------|----|-----------|---------|---------|
| Modelo. | 592614,90 | 3 | 197538,30 | 1964,00 | <0,0001 |
| Trat | 592614,90 | 3 | 197538,30 | 1964,00 | <0,0001 |
| Error | 1206,96 | 12 | 100,58 | | |
| Total | 593821,85 | 15 | | | |

Tabla 13. Análisis de la varianza para el n° de granos por panoja.

Test para el n° de granos por panoja: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,45112

Error: 100,5797 gl: 12

| Trat | Medias | n | E.E. | |
|-------------------|---------|---|------|---|
| Testigo | 1301,91 | 4 | 5,01 | A |
| Azospirillum | 1478,24 | 4 | 5,01 | B |
| Mezcla | 1577,36 | 4 | 5,01 | C |
| Gluconacetobacter | 1834,12 | 4 | 5,01 | D |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 14. Test de Fisher para el n° de granos por panoja.

6. DISCUSION.

El tratamiento por vía foliar del cultivo de Sorgo con *Gluconacetobacter* sp produjo aumentos estadísticamente significativos en el **rendimiento**, con un incremento del 37 % en Kg/ha respecto del testigo. En el caso de *Azospirillum* sp y la mezcla de ambos, el aumento de los rindes respecto del control fueron menores (19% y 16 % respectivamente) respecto del testigo.

Estos resultados coinciden con otros trabajos como el de Dibut et al. (2005), que encontraron aumento de los rindes y estimulación del crecimiento frente al tratamientos con *Gluconacetobacter* sp sobre cultivos como maíz, caña de azúcar, melón, calabaza y papa.

De igual manera, Ríos et al. (2008) encontró resultados similares en la aplicación de *Glucocacetobacter* sp. en el cultivo de zanahoria, observando incrementos en la altura de parte aérea de la planta, largo y diámetro de la raíz, número de hojas, peso fresco de la raíz y de las hojas.

Asimismo, el un trabajo final de grado en UNNOBA Tagliaferro encuentra aumentos de la materia seca por hectárea en la aplicación foliar de *Gluconacetobacter* sp en Rye Grass. Teniendo menores incrementos para *Azospirillum* sp y la mezcla de ambos.

Los trabajos de Zanettini y Puente, en el 2017 con *Azospirillum* sp en maíz, arroz y trigo demostraron respuesta positiva, lo mismo que Ferraris & Faggioli (2013) en una evaluación conjunta de 32 ensayos de *Azospirillum* sp en trigo realizados en la región Pampeana.

En el caso del **número de panojas por ha**, se observan incrementos del 23 % en el caso de *Gluconacetobacter* sp, y 19% en el tratamiento con *Azospirillum* sp, respecto del testigo y resultan estadísticamente significativos en el ANOVA.

Respecto al **peso de mil granos**, se visualizó aumentos en los distintos tratamientos respecto del testigo (13% en *Azospirillum*, 9% en *Gluconacetobacter* y 7% en la mezcla) pero no resultaron estadísticamente significativos. Sería necesario en futuros ensayos corroborar la variación de este parámetro agronómico.

En cambio, en el **número de granos por panoja**, se produjeron aumentos estadísticamente significativos ($p < 0,05$). El tratamiento con *Gluconacetobacter* sp mostró el mayor incremento, que fue del 41 % respecto del testigo. En el caso de *Azospirillum* sp y la mezcla los aumentos fueron menores (14% y 21% respectivamente).

En la bibliografía se hallan trabajos similares con ambos géneros bacterianos que han reportado resultados similares en aumento de los rindes, pero utilizando la inoculación en semilla de distintos cultivos, pero lo que otorga originalidad a los resultados de este trabajo, es la utilización de la vía foliar sin antecedentes bibliográficos.

7. CONCLUSIONES.

Se aceptan las hipótesis “La aplicación vía foliar de *Azospirillum* sp aumenta el rendimiento del cultivo de sorgo granífero” y “La aplicación vía foliar de *Gluconacetobacter* sp aumenta el rendimiento del cultivo de sorgo granífero”. Se observan incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de sorgo tratados con ambas cepas bacterianas. En el caso de *Glucocacetobacter* sp el incremento es del 37% y 19% para el caso de *Azospirillum* sp.

La co-inoculación con ambas cepas no solo no produce efectos sinérgicos respecto de los tratamientos monobacterianos, sino que pareciera producir efectos antagónicos según los datos obtenidos de rendimiento.

El número de panojas por ha y el número de granos por panoja mostraron aumentos respecto del testigo que resultaron estadísticamente significativos, tanto para *Gluconacetobacter* sp como *Azospirillum* sp.

8. TRABAJOS FUTUROS.

Como trabajos futuros se plantea realizar ensayos para evaluar el rendimiento del cultivo de sorgo utilizando estos bioinsumos en diferentes áreas geográficas, distintas fechas de siembra, híbridos, momentos de aplicación, dosis, vía y modo de aplicación, además de estudios económicos para determinar la viabilidad de la aplicación foliar de estas bacterias en el cultivo de sorgo para ser utilizada a nivel extensivo, como un recurso de suma importancia para reducir el uso de fertilizantes químicos y el impacto ambiental, teniendo en cuenta además, que en Argentina, se encuentran disponibles para los productores agropecuarios varias marcas de inoculantes comerciales tanto de *Azospirillum sp* como *Gluconacetobacter sp*.

9. BIBLIOGRAFIA.

- **Andrews, J. (1992).** Biological control in the phyllosphere.
- **Atlas, R., & Corzo, A. (2002).** Ecología microbiana y microbiología ambiental. Madrid: Pearson Educación.
- **Bashan, Y., Holguin, G., y LE de Bashan., 2004.** Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). Can. J. Microbiol. 50: 521-527.
- **Bashan, Y. and Levanony, H. 1990.** Current status of Azospirillum inoculation & technology: Azospirillum as a challenge for agriculture. Canadian Journal of Microbiology 36:591-608.
- **Bernardi, L.A. 2019.** Perfil del sorgo. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca Presidencia de la Nación. Consultado 22 oct. 2020. Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/informes/perfil-de-sorgo-2019.pdf.
- **Cavalcante, V. y Dobereiner, J. new acid-tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugarcane.** Plant and Soil, vol. 108, no. 1, mayo de 1988, pp. 23-31, ISSN 0032-079X, 1573-5036, DOI 10.1007/BF02370096.
- **Dardanelli, M.; Fernández de Córdoba, F.; Espuny, R.; Rodríguez Carvajal, M.; Soria Díaz, M.; Gil Serrano, A.; Okon, Y. and Megías, M. 2008.** Effect of *Azospirillum brasilense* coinoculated with Rhizobium on Phaseolus vulgaris flavonoids and Nod factor production under salt stress. Soil Biology & Biochemistry 40:2713-2721.
- Darwich, N. 2006.** Manual de fertilidad de suelos. Talleres de gráfica Armedenho, Mar del Plata. 289 pp.
- **Dibut, B.; Ortega, M.; Martínez, R.; Fey, L. y Ríos, Y. 2005.** NUEVOS AISLADOS DE *Gluconacetobacter diazotrophicus* en cultivos de importancia económica para Cuba. Informe técnico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícola Cuba.

- **Ferraris, G. & Faggioli, V. (2013).** Inoculación con microorganismos con efecto promotor de crecimiento. Conocimientos actuales y experiencias realizadas en la Región Pampeana Argentina.
- **Giorda, L. y Alegre, M. 2015.** Viabilidad del sorgo granífero en Argentina para la producción de bioetanol. Informe Técnico. INTA, EEA Manfredi.
- **Jacques, M., Kinkel, L., Morris, C. (1994).** *Population sizes, inmigration, and growth of epiphytic bacterial on leaves of different ages position of field-grown endive (Cichorium endivia var. Latifolia). Applied and Enviromental Microbiology. Vol 61 No 3. 899-906.*
- **Lindow, S., Andersen, G. (1996).** *Influence of inmigration on epiphytic bacterial populations on navel orange leaves. Applied and Enviromental Microbiology. Vol 62 No 8. 2978-2987.*
- **Lindow, S., Brandl, M.T. (2003).** *Minireview microbiology of the phyllosphere. Applied and Environmental Microbiology 69 No 4: 1875-1883.*
- Logeshwarn, P.; Thangaraju, M. y Rajasundari, K.** “Antagonistic potential of Gluconacetobacter diazotrophicus against Fusarium oxysporum in sweet potato (Ipomea batatus)”. Archives of Phytopathology and Plant Protection, vol. 44, no. 3, 1 de febrero de 2011, pp. 216-223, ISSN 0323-5408, DOI 0.1080/032354009 02952 7 07
- Patil, N. ; Gajbhiye, M.; Ahiwale, S. ; Gunjal, A. y Kapadnis, B.** “Optimization of Indole 3acetic acid (IAA) production by Acetobacter diazotrophicus L1 isolated from Sugarcane”. International Journal of Environmental Sciences, vol. 2, no. 1, 2011, pp. 295–302, ISSN 0976–4402.
- Perticari, A.** Nuevos Avances en Bio-estimulantes (Bioinoculantes) de Uso Foliar para la Producción Agrícola. Disponible en: https://www.fertilizar.org.ar/subida/evento/JonadaFertilizacionFoliar/FFInoculaci%C3%B3nFoliar_APerticari.pdf.
- Prabudoss, V.** “A real multi beneficial endophytic diazotroph Gluconacetobacter diazotrophicus for sugarcane”. International Journal of Current Research, vol. 8, no. 6, 2011, pp. 103-106, ISSN 0975-833X.

- **Puentes, M., García, J., Peticari, A. 2018.** Uso Actual y Potencial de Microorganismos para Mejorar la Nutrición y el Desarrollo en Trigo y Maíz. Artículo informativo. INTA.
- Punos, L., Iglesias, M. y Sotelo, C. 2009.** Utilización de inoculantes conteniendo Azospirillum en el cultivo de sorgo granífero. Artículo técnico. Cátedra de Microbiología Agrícola - Facultad de Ciencias Agrarias - Univ. Nacional de Nordeste (UNNE). Corrientes, Argentina.
- **Ríos, Y.; Fey, L.; Dibut, B.; Ortega, M.; Martínez, R.; Tejeda, G.; Rodríguez, J.; Soca, U. y Cañizares, K. 2008.** GLUCONACETOBACTER DIAZOTROPHICUS: EFECTO DE SU INOCULACIÓN SOBRE EL CULTIVO DE LA ZANAHORIA (DAUCUS CAROTA. L). Artículo informativo. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" INIFAT.
- Rovira, A. 1973.** Zones of exudation along plant roots and spatial distribution of microorganisms in the rhizosphere. Pestic. Sci. 4: 361-366.
- 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, Junín Buenos Aires Argentina, UNNOBA. 57 pp.
- **Toledo, R. 2018.** Como Se desarrolla la planta de sorgo. Consultado 17 oct. 2020. Disponible en: <https://es.slideshare.net/rubentoleado144/etapas-de-desarrollo-de-sorgo>.
- **Venini, L. 2021.** Cosecha de sorgo 2020-21: final de una muy buena campaña. El ABC Rural. Consultado el 16 mar. 2021 .Disponible en: <http://www.elabcrural.com>
- **Yang, C., Crowley, D., Boneman, J., Keen, N. (2000).** *Microbial Phyllosphere Population are more complex than previously realized. Plant Pathology and Enviromental sciences. 98: No7: 3889-3894.*

-Zanettini, J y Puente, M. 2017. Inoculación foliar con *Azospirillum brasilense* en trigo. Artículo de divulgación. INTA Castelar.

10. ANEXOS.

10.1 Prueba de Shapiro - Wilks para los diferentes parámetros de rendimiento.

Shapiro-Wilks: Rto Kg/Ha.

| Variable | n | Media | D.E. | W* | p(Unilateral D) |
|----------------|----|-------|--------|------|-----------------|
| RDUO RTO KG/HA | 16 | 0,00 | 596,18 | 0,92 | 0,2994 |

Tabla 15: Saphiro-Wilks para el Rendimiento en Kg/ha.

Shapiro-Wilks: Panojas/Ha.

| Variable | n | Media | D.E. | W* | p(Unilateral D) |
|-----------------|----|-------|----------|------|-----------------|
| RDUO PANOJAS/HA | 16 | 0,00 | 27386,13 | 0,87 | 0,0547 |

Tabla 16: Saphiro-Wilks para el nº de panojas por hectárea.

Shapiro-Wilks: Peso de mil semillas.

| Variable | n | Media | D.E. | W* | p(Unilateral D) |
|------------------|----|-------|------|------|-----------------|
| RDUO PESO DE MIL | 16 | 0,00 | 2,08 | 0,93 | 0,3919 |

Tabla 17: Saphiro-Wilks para el peso de mil semillas.

Shapiro-Wilks: Granos/panoja.

| Variable | n | Media | D.E. | W* | p(Unilateral D) |
|--------------------|----|-------|------|------|-----------------|
| RDUO GRANOS/PANOJA | 16 | 0,00 | 8,97 | 0,99 | 0,9988 |

Tabla 18: Saphiro-Wilks para el nº de granos por panoja.

10.2 Prueba de Levene para los diferentes parámetros de rendimiento.

Análisis de la varianza: Rto Kg/Ha.

| Variable | N | R ² | R ² | Aj | CV |
|----------------|----|----------------|----------------|-------|----|
| RABS RTO KG/HA | 16 | 0,34 | 0,17 | 65,81 | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|------------|----|-----------|------|---------|
| Modelo. | 586418,75 | 3 | 195472,92 | 2,02 | 0,1655 |
| Trat | 586418,75 | 3 | 195472,92 | 2,02 | 0,1655 |
| Error | 1163450,00 | 12 | 96954,17 | | |
| Total | 1749868,75 | 15 | | | |

Tabla 19: Prueba de Levene para el rendimiento en Kg/ha.

Análisis de la varianza: Panojas/Ha.

| Variable | N | R ² | R ² | Aj | CV |
|-----------------|----|----------------|----------------|-------|----|
| RABS PANOJAS/HA | 16 | 0,27 | 0,08 | 55,48 | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|---------------|----|--------------|------|---------|
| Modelo. | 718750000,00 | 3 | 239583333,33 | 1,46 | 0,2758 |
| Trat | 718750000,00 | 3 | 239583333,33 | 1,46 | 0,2758 |
| Error | 1975000000,00 | 12 | 164583333,33 | | |
| Total | 2693750000,00 | 15 | | | |

Tabla 20: Prueba de Levene para el nº de panojas por hectareas.

Análisis de la varianza: Peso de mil semillas.

| Variable | N | R ² | R ² | Aj | CV |
|------------------|----|----------------|----------------|-------|----|
| RABS PESO DE MIL | 16 | 0,23 | 0,03 | 65,61 | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo. | 4,37 | 3 | 1,46 | 1,18 | 0,3589 |
| Trat | 4,37 | 3 | 1,46 | 1,18 | 0,3589 |
| Error | 14,84 | 12 | 1,24 | | |
| Total | 19,21 | 15 | | | |

Tabla 21: Prueba de Levene para el peso de mil semillas.

Análisis de la varianza: Granos/panoja.

| Variable | N | R ² | R ² | Aj | CV |
|--------------------|----|----------------|----------------|-------|----|
| RABS GRANOS/PANOJA | 16 | 0,58 | 0,47 | 64,97 | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|--------|----|--------|------|---------|
| Modelo. | 300,28 | 3 | 100,09 | 5,51 | 0,0130 |
| Trat | 300,28 | 3 | 100,09 | 5,51 | 0,0130 |
| Error | 218,01 | 12 | 18,17 | | |
| Total | 518,29 | 15 | | | |

Tabla 22: Prueba de Levene para el nº de granos por panoja.