



INOCULACIÓN DE *Azospirillum brasilense* EN HÍBRIDOS DE SORGO GRANÍFERO

INOCULATION OF *Azospirillum brasilense* IN GRAIN SORGHUM HYBRIDS

Reseda Analise Vázquez Fleitas^{1*} , Florencio David Valdez Ocampo¹  y Celia Antonela Fleitas Quintana¹ 

¹ Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias, Concepción, Paraguay.

*Autor por correspondencia: anavazfle@gmail.com

RESUMEN

El experimento fue ejecutado en el local de la Escuela Agrícola de Concepción (EAC), distante a 7,5 km de la ciudad de Concepción; entre los meses de marzo a julio del año 2021, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes dosis de *Azospirillum brasilense* en tres híbridos de sorgo. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completamente al azar, con parcelas subdivididas 3x4 (3 híbridos de sorgo granífero y 4 dosis diferentes de inoculante *A. brasilense*). Fueron totalizados doce tratamientos. Las determinaciones analizadas fueron: días a floración, altura de planta; número de hojas y producción de masa verde y granos. Los valores logrados fueron sometidos al análisis de varianza mediante el test F y las medias comparadas entre sí por medio del test de Tukey al 5 % de probabilidad; además, se efectuó análisis de regresión para las dosis de inoculante en aquellas determinaciones donde se registró efecto significativo. Para las variables analizadas (días a floración, altura de planta y número de hojas), no se lograron resultados estadísticamente significativos con los tratamientos aplicados en los tres híbridos, no siendo así, para las diferentes dosis de inoculante utilizadas, demostrándose en este caso, diferencias estadísticas altamente significativas. Con el híbrido NUGRAIN 440 se logró mejor resultado para altura de planta y número de hojas. No se lograron diferencias estadísticamente significativas en los resultados generados para producción de masa verde entre los híbridos. Por otro lado, para producción de granos sí se lograron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados. Para las variables Masa Verde y Granos, se demostró diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes dosis de inoculante, logrando la mejor producción con la dosis de 1,5 ml kg⁻¹ de semilla.

Palabras clave: Sorgo granífero, *A. brasilense*, inoculante, producción

ABSTRACT

The experiment was conducted at the Concepción Agricultural School (EAC), located 7.5 km from the city of Concepción, between March and July 2021, with the objective of evaluating the effect of different doses of *Azospirillum brasilense* on three grain sorghum hybrids. The experimental design used was a randomized complete block design with a split-plot arrangement (3 × 4), consisting of 3 grain sorghum hybrids and 4 different doses of *A. brasilense* inoculant, totaling twelve treatments. The variables evaluated were: days to flowering, plant height, number of leaves, and green biomass and grain yield. The data obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the F-test, and treatment means were compared using Tukey's test at a 5% probability level. In addition, regression analysis was performed for inoculant doses in cases where significant effects were observed. For the variables days to flowering, plant height, and number of leaves, no statistically significant differences were found among the hybrids; however, the different inoculant doses showed highly significant differences. The hybrid NUGRAIN 440 exhibited the best performance in terms of plant height and number of leaves. No significant differences in green biomass production were observed among the hybrids, whereas significant differences were found for grain yield among the treatments. For both green biomass and grain yield, statistically significant differences were observed among the inoculant doses, with the highest production achieved at the dose of 1.5 mL kg⁻¹ of seed.

Keywords: Grain sorghum, *A. brasilense*, inoculant, yield

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sorgo, es uno de los cultivos más difundidos a nivel mundial, por ser muy palatable para los animales y por algunas facilidades que brinda la producción de dicha planta. Siendo así, es importante que constantemente haya mejoras con tecnologías que faciliten aún más su producción y que permitan obtener mejores rendimientos.

El sorgo (*Sorghum vulgare*) es un cultivo utilizado como alternativa de alimentación bovina, por medio de la conservación en silo, siendo altamente funcional con respecto a metodologías tradicionales como el pastoreo de forraje nativo o mejorado. Es un cultivo con buena adaptación, tolerancia a condiciones de sequía, elevada producción de materia verde y capacidad de rebrote de las plantas gracias a su rápido crecimiento (Rios et al., 2021).

El sorgo requiere de grandes cantidades de nitrógeno, de manera semejante al maíz, por la gran producción de biomasa y rápido crecimiento. La buena provisión de Nitrógeno desde los primeros estadios permitirá al cultivo un rápido crecimiento y una buena suficiente área foliar para interceptar la mayor cantidad de radiación y así transformarla en biomasa (Carnaghi, 2023).

Durante los últimos años la creciente necesidad de optimizar los balances energéticos y desarrollar una agricultura sustentable y productiva que involucre la protección y mejora de la calidad de los suelos, el agua y la atmósfera, ha llevado a la búsqueda de alternativas para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados. Entre ellas, la fijación biológica de nitrógeno (FBN) es una de las opciones más eficientes para incorporar nitrógeno en el ecosistema. Este proceso es realizado por un grupo de microorganismos altamente especializados conocidos como bacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGPB (por sus siglas en inglés "Plant Growth Promoting Bacteria"), entre las cuales se encuentran las pertenecientes al género *Azospirillum*. Las bacterias de este género se caracterizan por ser diazotróficas de vida libre, capaces de fijar N₂ en condiciones de microaerofilia (Grellet et al., 2017).

La mayor parte del nitrógeno en los ecosistemas proviene de la fijación biológica producida por las bacterias. Estas bacterias son conocidas como diazotróficas las cuales realizan fijación de nitrógeno atmosférico en formas más disponibles como el amonio y la de mayor importancia es el *Azospirillum* (Obando y Solano, 2021).

Se ha observado un creciente interés en el uso de inoculantes que contienen organismos fijadores de nitrógeno atmosférico y debería aumentar en los próximos años. El uso de estos organismos puede contribuir al suministro de todo o parte de este nutriente a las plantas, reduciendo los costos de producción y proporcionando una producción agrícola sostenible (Nakao et al., 2014).

Este trabajo tuvo como objetivo general: Evaluar el efecto de diferentes dosis de *Azospirillum brasiliense* en tres híbridos de sorgo. Los objetivos específicos fueron los siguientes: Analizar el componente de vigor (altura final); cuantificar el número de hojas por planta; días para floración y determinar la producción de materia verde y granos en kg ha⁻¹. Como hipótesis fue planteada la siguiente: La aplicación de *Azospirillum brasiliense* en el híbrido Fox con las dosis de 1 ml kg⁻¹ arrojará mejores resultados en comparación a los demás híbridos utilizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue del tipo experimental cuali-cuantitativo. El trabajo se realizó durante el periodo comprendido entre los meses de marzo a julio del año 2021, en el local de Escuela Agrícola de Concepción (MAG), distante a 7,5 km de la ciudad de Concepción sobre la Ruta Loreto, lugar denominado Rincón Luna.

La precipitación promedio anual varía entre 1300 mm hasta 1700 mm en la Región Oriental, existiendo una variabilidad estacional de lluvias. La mayor precipitación ocurre de octubre hasta marzo, constituyendo julio y agosto los meses de menor precipitación, existiendo una variabilidad en la distribución de las lluvias mensual en las diferentes localidades, siendo el clima del tipo continental. La temperatura máxima alcanza los 40°C, en verano, mientras que la mínima extrema en invierno es de hasta -2°C. La media es de 20°C (Dirección Nacional de Aeronáutica Civil - Dirección de Meteorología e Hidrología, 2021).

El suelo del local del experimento presenta una textura franco arenosa, con un contenido de materia orgánica en los 25 cm superficiales de 1,05% y el pH presenta un valor de 6,22 de acuerdo a los resultados de análisis de suelos efectuado por el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola de Concepción – EAC.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar (DBCA), con parcelas subdivididas 3x4 (tres híbridos de sorgo y cuatro dosis diferentes de inoculante) con doce tratamientos y tres repeticiones,

totalizando 36 unidades experimentales (UE), donde fueron distribuidos los tratamientos, cada UE tuvo una dimensión de 9 m². La dimensión total de la parcela (AE) fue de 324 m². El número de muestras por cada UE fue de 60 plantas, de entre las cuales fueron utilizadas como muestras útiles, 10 plantas por UE.

Las características de los híbridos del sorgo granífero utilizados se detallan a continuación:

SPRING T60: Sorgo granífero, de ciclo medio, con alto porcentaje de proteína en sus granos, teniendo un buen desarrollo bajo condiciones de sequía. Sus granos poseen taninos condensados alto. Presenta una altura de 1,30 a 1,50 m, respectivamente. Con días a floración de 55 a 58.

FOX: es un sorgo granífero híbrido de ciclo precoz con un alto potencial productivo, teniendo una excelente cobertura de suelo. Sus granos son de bajo contenido de taninos condensados; presentando días a floración de 55 a 60 y una altura de 1,20 a 1,30 m, respectivamente.

NUGRAIN 440: Sorgo granífero desarrollado para plantaciones de doble propósito, con altísimo potencial de rendimiento en grano y materia seca por hectárea. Ciclo largo y probada rusticidad. Excelente formación de panoja. Días a floración de 78 a 80 y una altura de 1,75 a 1,90 m, respectivamente.

En la tabla 1 se observa la descripción detallada de los tratamientos utilizados en el experimento.

Tabla 1. Tratamientos aplicados en el experimento sobre inoculación de *Azospirillum brasilense* en tres híbridos de sorgo granífero.

Trat.	Parcela principal: Híbridos de sorgo	Subparcela: Dosis de inoculante ⁽¹⁾
T1	Spring T60	0 ml
T2	Spring T60	0,5 ml ⁽²⁾
T3	Spring T60	1 ml
T4	Spring T60	1,5 ml
T5	Fox	0 ml
T6	Fox	0,5 ml
T7	Fox	1 ml
T8	Fox	1,5 ml
T9	Nugrain 440	0 ml
T10	Nugrain 440	0,5 ml
T11	Nugrain 440	1 ml
T12	Nugrain 440	1,5 ml

⁽¹⁾ ml de *A. brasilense* por kg de semilla

⁽²⁾ dosis recomendada por el fabricante

Para la instalación de la parcela

experimental, se procedió a la preparación de suelo con una rastreada y posteriormente la nivelación del suelo, esto permitió que el terreno esté plano y que la tierra quede bien mullida, considerando que la semilla del sorgo es pequeña, la misma se realizó a poca profundidad. Previamente se obtuvo una muestra de suelo, para su análisis correspondiente, cuyo resultado fue utilizado para la caracterización del suelo.

La siguiente labor que se realizó fue la preparación de las semillas para la siembra del cultivo, donde fue aplicado el inoculante a los tres híbridos en estudio (Spring T60, Fox y Nugrain 440), considerando la cantidad para los diferentes tratamientos (0; 0,5; 1,0 y 1,5 ml kg⁻¹ de semilla, respectivamente). La inoculación de las semillas de sorgo granífero se realizó una hora antes de la siembra bajo condiciones controladas, con el objetivo de no perder el inoculante de cada tratamiento evaluado. Fueron realizados los siguientes pasos para inocular la semilla: primeramente, se mezcló el adherente o gel en agua; luego se vació la semilla en la mezcladora y se adicionó la suspensión del adherente más agua y se procedió a mezclar todo; las dosis se aplicaron de acuerdo a cada tratamiento recomendado.

Para la siembra fueron utilizadas dos máquinas sembradoras a manera de realizar el trabajo de forma totalmente independiente entre los tratamientos con y sin inoculación.

La siembra se realizó en forma manual siguiendo el marco de plantación de 0,6 m entre hilera, y las semillas fueron distribuidas en líneas seguidas para su raleo posterior. En cuanto a las labores culturales, se había realizado inicialmente el raleo para dejar solo una planta por hoyo. En lo que respecta al manejo de maleza ésta se efectuó con la aplicación de herbicida pre-emergente, evitando de esta manera la germinación de las malezas y posteriormente el mismo cultivo por la alta densidad ha generado el control de las malezas.

Así también se realizó la aplicación de insecticida, controlando de esta manera la aparición de orugas cortadoras en demasía, evitando de esta manera la reducción del área foliar. Para el mismo se utilizó un producto a base de cipermetrina (20 ml en tanque de 20 L) para el control de dichos insectos, esto se ha realizado en dos oportunidades: a los 30 y 55 días después de la siembra del cultivo.

La cosecha (de la materia verde y granos) fue realizada cuando el 90% de las plantas alcanzaron la altura de 120 a 140 cm (momento en que la maduración de los granos fueron

observadas en forma uniforme), el corte se llevó a cabo desde el nivel del suelo a una altura de 20 cm de la planta; el procedimiento se realizó en forma manual dentro de las parcelas útiles, el mismo consistió en el pesaje de la materia verde de la planta, incluyendo tallos, hojas y panoja. El desgrane fue realizado luego del procedimiento de pesaje de la materia verde. Los datos fueron tomados a partir de la muestra de 10 plantas por unidad experimental, el cual fue representativo a la población total.

Las determinaciones realizadas fueron:

Altura de la planta (AP): Fueron seleccionadas 10 plantas de cada parcela útil, midiendo con cinta métrica desde la base del suelo hasta la punta de la panoja, posteriormente las mediciones fueron promediadas, cuyos valores fueron expresados en cm (Plaza, 2015).

Días a floración (DF): Se determinó contando el número de días comprendidos desde la siembra hasta cuando el 50 % de las plantas de cada parcela presentaron las panojas fuera de la vaina (Plaza, 2015).

Numero de hojas por planta a la cosecha (NH): Se realizó el conteo en 10 plantas tomadas al azar dentro del área útil de cada parcela

Producción de materia verde (MV): Después del corte de las plantas de la UE, que abarcó un área de 5m², se procedió al pesaje de la materia verde, utilizando una balanza tipo comercial. Los resultados se expresaron en g-

Producción de granos: Se realizó al final del ciclo del cultivo. Para esta determinación se procedió a seleccionar 10 panículas al azar, que fueron trilladas, pesadas y promediadas. Se determinó humedad en granos utilizando un medidor de humedad para estandarizar el rendimiento a 13 % de humedad. Los resultados fueron expresados en kg ha⁻¹ (Plaza, 2015).

Los valores logrados fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA) mediante el test F, en caso de observarse efecto significativo de tratamientos, las medias fueron comparadas entre sí por medio del test de Tukey al 5 % de probabilidad. También se efectuó análisis de regresión para las dosis de inoculante en aquellas determinaciones donde se registró efecto significativo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Días a floración, Altura de planta y Número de Hojas

En la tabla 2, se puede observar los resultados logrados en el procesamiento de los datos de las medias generados mediante el

análisis estadístico, correspondiente a las siguientes determinaciones: días a floración (DF), altura de planta (AP) y número de hojas (NH) en función a la utilización de cuatro dosis diferentes de inoculante de *Azospirillum brasilense* (subparcela-SP) en tres híbridos de sorgo granífero (parcela principal-PP).

La MG lograda para DF, AP y NH fueron los siguientes: 54,50; 131,19 y 6,90, respectivamente. Los valores del CV (Parcelas) para las mismas variables fueron: 15,35; 12,03 y 13,14; respectivamente, siendo los valores obtenidos para CV (Subparcelas): 6,00; 6,80 y 7,00.

Tabla 2. Comparación de las medias de las variables analizadas (Días a floración, Altura de Planta y Número de Hojas) en la inoculación de *Azospirillum brasilense* en híbridos de sorgo granífero.

Parcela	DF	AP (cm)	NH
Principal: Híbridos			
	NS	NS	NS
Spring T60	57,00 a	129,42 a	6,75 a
Fox	53,00 a	122,33 a	6,75 a
Nugrain 440	53,41 a	142,00 a	7,16 a
DMS (5%):	12,17	22,00	1,31
Subparcela: Dosis de inoculante			
0 ml kg ⁻¹	47,33	120,55	5,67
0,5 ml kg ⁻¹	60,00	131,00	6,56
1,0 ml kg ⁻¹	56,44	137,88	7,22
1,5 ml kg ⁻¹	55,00	135,33	8,11
DMS (5%):	4,35	10,09	0,61
PPxSP:	NS	NS	NS
MG:	54,50	131,19	6,90
CV % (PP):	15,35	12,03	13,14
CV % (SP):	6,00	6,80	7,00

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad. DF: Días a floración. AP: Altura de Planta. NH: Número de Hojas. NS: No significativo. DMS: Diferencia mínima significativa. PP: Parcela principal. SP: Subparcela. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación.

Los resultados obtenidos para días a floración (DF), altura de planta (AP) y el número de hojas por planta (NH), considerando el efecto principal (Híbridos) demostraron ser iguales entre sí a nivel estadístico, entendiéndose que no hubo estadísticamente diferencias significativas por el test de Tukey al 5% de probabilidad.

Las variaciones de DF (dentro del efecto principal) entre los híbridos de sorgo granífero utilizados fueron las siguientes: SPRING, 57; FOX, 53 y NUGRAIN, 53,41 días, respectivamente. Comparando estos resultados entre sí, se constata que el híbrido FOX y

NUGRAIN llevan menor tiempo para lograr la floración, comparado con SPRING, que necesitó más 4 días para lograr dicha floración, pudiendo influir para este efecto, la época y el lugar de siembra. La DMS lograda para esta variable dentro del efecto principal fue de 12,17.

Por otro lado, se verifica que los resultados encontrados para el efecto de subparcela (DF) correspondiente a las diferentes dosis de *Azospirillum brasilense* aplicada (0; 0,5; 1,0 y 1,5 ml kg⁻¹ de semilla, respectivamente), presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, por el Test de Tukey al 5% de probabilidad. Obteniéndose una DMS de 4,35. Con la dosis 0 (control-tratamiento sin aplicación de inoculante), se obtuvo el menor tiempo para la floración, lográndose a los 47,33 días la floración de los híbridos cultivados, comparado con los tratamientos donde se aplicaron dosis crecientes de *Azospirillum brasilense*.

Fariza et al. (2017), realizando la evaluación agronómica en diferentes cultivares de sorgo granífero, encontraron que el promedio de días a floración fue de 64,1 con una amplitud de 57 (GEN 417-T) a 69 días (GEN11T). Se observó que los cultivares se agruparon en dos grupos principales: ciclo corto e intermedio. Díaz et al. (2014), mencionan que este aspecto reviste fundamental importancia para la interpretación del comportamiento de cada cultivar para compensar las diferencias de rendimiento con la versatilidad para adaptarse a siembras tardías o ambientes con menor período libre de heladas.

En la curva ajustada que se presenta en la Figura 1, se observa que entre las dosis del inoculante aplicado y días a floración (DF) en híbridos de sorgo granífero existe una baja relación, de acuerdo al coeficiente de determinación de la curva (0,4392). La relación indicada sigue un modelo cuadrático.

En la figura, se puede ver las variaciones en cuanto a los días a floración, no influyendo la aplicación de dosis creciente del inoculante dentro de esta variable analizada, señalando que con dosis 0, el tiempo en presentar la floración fue menor (47,33); aumentando la dosis de 0,5 ml kg⁻¹, alcanza una altura de 60,00 cm, lo cual significó el mayor tiempo para la floración, para posteriormente decaer al aumentar la dosis. En este aspecto, se puede considerar las características que presentan los tres híbridos en estudio, reiterando que los días de floración que presentan va de 55 días hasta los 80 días. Considerando, además, el ciclo de cada híbrido cultivado, ya que los mismos presentan ciclos:

corto, medio y largo; pudiendo influir en los resultados encontrados en este trabajo.

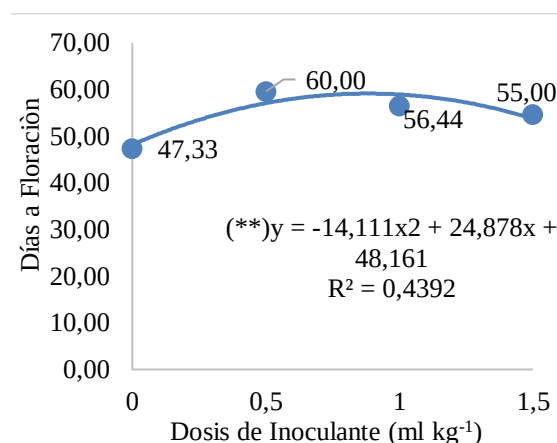


Figura 1. Curva ajustada entre dosis de inoculante y días a floración en híbridos de sorgo granífero.

Los resultados de AP (para efecto principal) observados en la tabla 2, no presentaron estadísticamente diferencias significativas; se pudo observar un aumento de 20 cm., a favor del híbrido NUGRAIN 440 (142,00 cm), coincidiendo con las características que presenta este material híbrido, comparado con el híbrido FOX, que presentó la menor altura (122,33 cm). El híbrido SPRING T60 obtuvo una altura de 129,42 cm. Determinándose para esta variable dentro del efecto principal, una DMS de 22 cm.

Las medias presentadas en la tabla (AP), para la aplicación de diferentes dosis de *Azospirillum brasilense* (TS) demostraron estadísticamente diferencias altamente significativas. Para cada dosis diferente, 0; 0,5; 1,0 y 1,5 ml kg⁻¹ de semilla, respectivamente, se lograron las siguientes alturas: 120,55; 131,00; 137,88 y 135,33 cm, respectivamente.

Comparando los tratamientos que no recibieron ninguna aplicación de inoculante (control), con los tratamientos que recibieron dosis crecientes de dicho inoculante, se indica que hubo una diferencia de 17 cm entre lo logrado con la dosis de 1,0 ml kg⁻¹ de semilla y la dosis 0.

La Figura 2 contiene la relación entre las dosis del inoculante y la altura de planta de los híbridos de sorgo granífero. Dicha relación indicada sigue un modelo lineal. El coeficiente de determinación de la curva fue de 0,7489.

Se observa en la figura 2, un comportamiento ascendente hasta la dosis de 1,0 ml kg⁻¹ de semilla, luego decae al aumentar la dosis del inoculante aplicado. Las medias obtenidas para esta variable fueron menores,

considerando las características de los híbridos (que va de 130 a 190 cm, respectivamente).

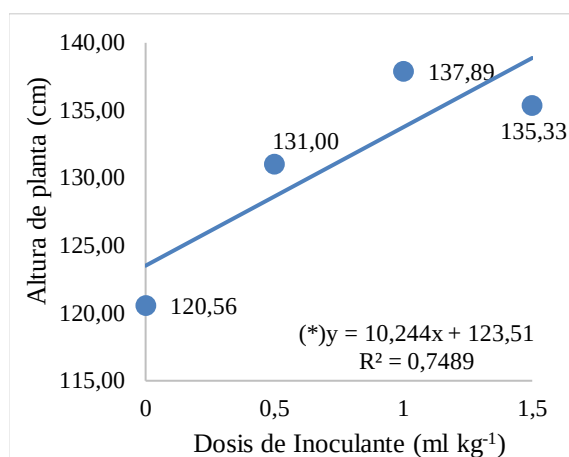


Figura 2. Relación entre dosis de inoculante y altura de planta de híbridos de sorgo granífero. Concepción, 2021.

De acuerdo a resultados de una investigación realizada por Nakao et. al (2014), en respuesta del sorgo granífero a la aplicación de diferentes dosis y épocas de inoculante (*Azospirillum brasilense*) vía foliar, demostraron estadísticamente diferencias significativas para altura de planta, mencionando que la inoculación en diferentes etapas cambió la altura de las plantas con valores medios más altos encontrados para plantas inoculadas durante la etapa 2, comparado con la etapa 1, con valores de 142,96 y 140,25 cm, respectivamente. El uso de *A. brasilense* afectó la altura de las plantas de sorgo, con respuestas positivas a la inoculación de la bacteria. Indicando valores superiores a lo encontrado en este trabajo.

La inoculación de *Azospirillum* spp. Anteriormente se informó que había aumentado la altura de las plantas. en espárragos, tomates, maíz y arroz. Varias especies de *Azospirillum* también producen ácido acético, auxinas, giberelinas y citoquininas. Entre las auxinas destaca la IAA, una auxina que promueve el crecimiento en longitud de la planta, la floración, la maduración del fruto, la senescencia y el geotropismo (Rubiños 2019).

En la tabla 2, también se demuestra que los resultados logrados para NH (dentro de TP) no difieren entre sí por el Test de Tukey al 5% de probabilidad, mientras que para el efecto de secundario (SP) se obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas. El híbrido NUGRAIN presentó una mínima diferencia para esta variable analizada, comparado con los demás híbridos utilizados, cuyo valor medio logrado fue: 7,16. Por otra parte, dentro del TS,

se constata que el valor logrado con la mayor dosis (1,5 ml kg⁻¹ de semilla de *Azospirillum brasilense*) fue: 8,11; siendo superior a los demás tratamientos aplicados con dosis menores; comparando con la dosis 0, el valor logrado fue de 5,66; asimismo, comparado con las dosis 0,5 y 1,0 ml kg⁻¹ de semilla, respectivamente los valores arrojados en promedio fueron: 6,55 y 7,22.

Para las determinaciones realizadas dentro de este apartado, la interacción entre tratamientos (PP – Híbridos x SP – dosis de inoculante) no demostró estadísticamente diferencias significativas.

La relación entre dosis de inoculante y el número de hojas se presenta en la Figura 3. Esta relación indicada sigue un modelo lineal. El coeficiente de determinación resultante fue de 0,6612.

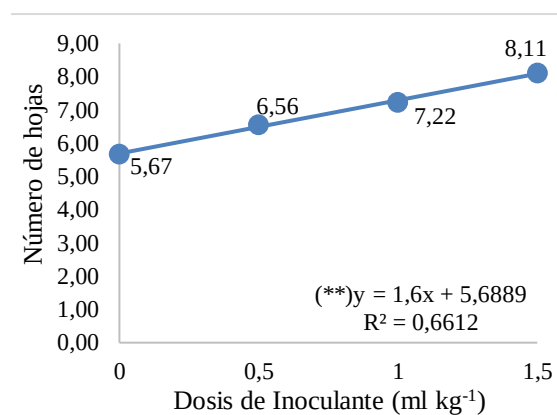


Figura 3. Relación entre dosis de inoculante y número de hojas de híbridos de sorgo granífero. Concepción, 2021.

Se observa en la figura 3, que, con el aumento de las dosis del inoculante, también aumenta el número de hojas de las plantas de sorgo. Ramos y Rodríguez (2024), en un estudio realizado sobre el efecto del nitrógeno en adición de *Azospirillum brasilense* y bioactivadores de microorganismos del suelo en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), encontraron diferencias altamente significativas donde el número de hojas aumentó significativamente en aquellas que fueron sometidas al tratamiento con *A. brasiliense*.

Producción de masa verde y Granos

La comparación de las medias, correspondiente a las siguientes determinaciones: Producción de Masa verde y Granos, en función a la utilización de cuatro dosis diferentes de inoculante de *Azospirillum brasilense* (subparcela-SP) en tres híbridos de

sorgo granífero (parcela principal- PP), se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de las medias de las variables analizadas (Producción de Masa verde y granos) en la inoculación de *Azospirillum brasilense* en híbridos de sorgo granífero. Concepción, 2021.

Parcela	MV (kg ha ⁻¹)	GRANOS (kg ha ⁻¹)
Principal: Híbridos		
	NS	**
Spring T60	171.166 a	4.980 b
Fox	163.900 a	4.815 c
Nugrain 440	171.167 a	5.162 a
DMS (5%):	71	134
Subparcela: Dosis de inoculante		
	*	**
0 ml kg ⁻¹	147.889	4.832
0,5 ml kg ⁻¹	161.356	4.900
1,0 ml kg ⁻¹	169.557	5.005
1,5 ml kg ⁻¹	192.178	5.204
DMS (5%):	39.111,45	207
PPxSP:	NS	NS
MG:	167.744	4.986
CV % (PP):	9,39	1,84
CV % (SP):	17,50	3,11

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad. MV: Masa verde. NS: No significativo. **: Diferencia significativa al 1%. *: Diferencia significativa al 5%. DMS: Diferencia mínima significativa. PP: Parcela principal. SP: Subparcela. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación.

Los resultados generados dentro del TP (Híbridos), no demostraron estadísticamente diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, mediante el Test de Tukey al 5% de probabilidad. Para los tratamientos estudiados dentro de la SP (Diferentes dosis de inoculante), demostraron diferencias estadísticas altamente significativas. Se logró una DMS de 39.111,45 kg ha⁻¹. Para esta variable analizada se registró una MG de 167.744 kg ha⁻¹. Los valores del CV (para parcelas y subparcelas) fueron: 9,39 y 17,50; respectivamente.

Para MV, se observa que los resultados entre los tratamientos aplicados dentro del TP (Híbridos), no difieren entre sí estadísticamente. Para el efecto, se obtuvo para los tres híbridos utilizados SPRING T60, FOX y NUGRAIN 440, los siguientes valores: 171.166; 163.900 y 171.167 kg ha⁻¹, respectivamente; con una DMS de 71 kg ha⁻¹.

Los resultados obtenidos, correspondientes al TS (diferentes dosis de *A. brasilense*), lograron evidenciar estadísticamente diferencias significativas entre los tratamientos

estudiados. En la Figura 4, se presentan las medias de la masa verde de los tres híbridos, obtenidas con la aplicación de diferentes dosis de *A. brasilense*. Además, se presenta la ecuación de regresión y el coeficiente R² correspondiente a la regresión polinómica de segundo grado. Se observa que entre las dosis del inoculante aplicado y la masa verde (MV) en híbridos de sorgo granífero existe una baja relación, considerando el coeficiente de determinación (R²=0,3356).

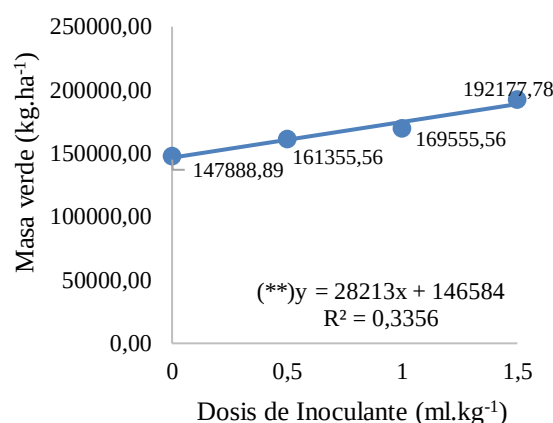


Figura 4. Relación entre dosis de inoculante y masa verde de híbridos de sorgo granífero. Concepción, 2021.

Se observa en la figura 4, que con la dosis de 1,5 ml kg⁻¹ de semilla de *A. brasilense* aplicada, se obtuvo la mayor producción de MV, demostrando ser superior (con un peso de 192.178 kg ha⁻¹), comparado con lo obtenido con la dosis 0, resultando con menor valor (147.889 kg ha⁻¹). Los resultados obtenidos con la utilización de las dosis de *A. brasilense*: 0,5 y 1.0 ml.kg⁻¹ de semilla fueron: 161.356 y 169.556 kg ha⁻¹, respectivamente. Se evidencia en este sentido, que la utilización de *A. brasilense* en el cultivo de sorgo granífero proporciona mayor producción de MV.

Palma y Sánchez (2023), en un trabajo similar, hallaron que, con la combinación de abonos orgánicos, biofertilizantes (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Serendipita* sp.) y fertilización química con concentración al 50 % se obtuvo resultados que demostraron que la masa verde fue mayor con los tratamientos aplicados, en relación al testigo.

Los resultados logrados para producción de granos, presentados en la Tabla 3, indican estadísticamente diferencias altamente significativas dentro del TP, donde el mayor valor obtenido con el híbrido NUGRAIN 440 (5.162 kg ha⁻¹), demostró ser superior estadísticamente, comparado consecuentemente con lo obtenido con el híbrido SPRING T60

(con 4.980 kg ha⁻¹) y FOX (con 4.815 kg ha⁻¹). Se logró una DMS de 134 kg ha⁻¹. Las características del genotipo de cada híbrido utilizado podrían influir en el incremento de la producción de granos en el cultivo de sorgo.

Las medias de los tratamientos comparadas entre sí dentro de la SP (dosis de inoculante), demostraron diferencias estadísticamente significativas. En la Figura 5 se presenta las medias de la producción de granos, obtenidas con la aplicación de diferentes dosis de *A. brasilense*. Además, se presenta la ecuación de regresión y el coeficiente R².

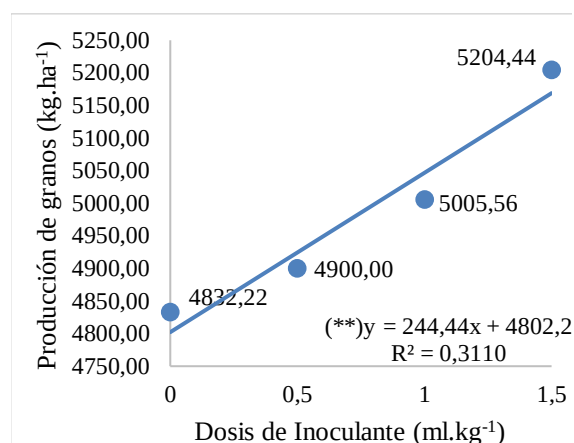


Figura 5. Relación entre dosis de inoculante y producción de granos de híbridos de sorgo granífero. Concepción, 2021.

En la Figura 5, se puede observar que existe un aumento en la producción de granos, conforme al aumento de la dosis de inoculante aplicado, ajustándose a una ecuación lineal. La menor producción obtenida fue de 4.832,22 kg ha⁻¹ en el tratamiento sin aplicación de inoculante y el más elevado (5204,44 kg ha⁻¹) se obtuvo con la dosis máxima aplicada de 1,5 ml ha⁻¹ de semilla. En este sentido, la dosis de máxima eficiencia técnica se obtendría con dosis mayores a las utilizadas en este experimento.

Enciso et al. (2018), lograron en promedio con la utilización de inoculante a base de *Azospirillum* en el cultivo de maíz, un rendimiento de grano de 3.437 kg ha⁻¹, con respecto a los tratamientos que no recibieron la aplicación del inoculante a base de *Azospirillum* (3.070 kg ha⁻¹), esto representa en promedio 367 kg ha⁻¹ menos en relación a los resultados obtenidos en los tratamientos con inoculante.

La interacción entre tratamientos (PP – Híbridos x SP – dosis de inoculante) no demostró diferencias estadísticamente significativas para las variables realizadas (Producción de MV y Granos).

La MG lograda para esta variable analizada fue de: 4.986 kg ha⁻¹; logrando un CV (para parcelas y subparcelas) de: 9,39 y 17,50, respectivamente.

Rodríguez-Larramendi et al. (2023) hallaron respuestas positivas de las plantas a la inoculación con *A. brasilense* y mencionan que esas respuestas podrían venir dadas por la fijación biológica de nitrógeno, probablemente favorecidas por la fertilización nitrogenada llevada a cabo en el experimento, y por la producción hormonal de las plantas. En este sentido, las inoculaciones con *A. brasilense* habían mejorado el desarrollo de *S. Viridis* tras el aumento de la fijación de CO₂ y la reducción de la acumulación de carbono fotoasimilado en las hojas, lo que se tradujo en un mayor crecimiento de la canopia, un aumento del contenido de agua en los tejidos vegetales y una reducción del estrés 24,28.

Además, el aumento de la producción de ácido indolacético puede mejorar la absorción de nutrientes al aumentar el crecimiento de las raíces 24,28. Zeffa et al. (2019) estudiaron semillas inoculadas con *A. brasilense*, encontrando una intensificación del crecimiento de la planta, una mejora de los rasgos bioquímicos y un aumento de la NUE bajo déficit de nitrógeno. Otros autores han encontrado que, independientemente de la fuente de nitrógeno y la dosis, *A. brasilense* aumentó el rendimiento de grano de maíz.

Fariza et al. (2017), realizando una evaluación agronómica en cultivares de sorgo granífero, observaron diferencias significativas entre los diferentes cultivares para todas las variables evaluadas, donde el rendimiento de grano promedio fue de 5245,4 kg ha⁻¹, resultando un promedio similar a lo logrado en este trabajo (5.204,44 kg ha⁻¹).

CONCLUSIONES

Con el híbrido NUGRAIN 440 se logró mejor resultado para altura de planta, con la aplicación de 1,0 ml kg⁻¹ de semilla de *Azospirillum brasilense*, así también para número de hojas.

La mejor producción de MV y Granos se logró con la aplicación del inoculante *Azospirillum brasilense* con dosis de 1,5 ml kg⁻¹ de semilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carnaghi, F. (2023). *Rendimiento en sorgo (Sorghum bicolor L.) asociado a diferentes dosis de fertilizante fosforado, fertilizante foliar,*

- bioestimulantes y sus interacciones. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires]
<http://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/handle/23601/701>
- Díaz, M. G., Kuttel, W., Figueroa, E., Pereira, M., & Gándara, L. (2014). *Evaluación del rendimiento de híbridos de sorgo granífero en diferentes ambientes agroecológicos. Campaña 2013/2014*. EEA Paraná, Concepción del Uruguay – Entre Ríos y EEA Mercedes, EEA El Sombbrero – Corrientes – INTA.
- DINAC / DMH. (2021). *Datos meteorológicos*. Dirección Nacional de Aeronáutica Civil / Dirección de Meteorología e Hidrología.
- Enciso Santacruz, D., Duarte-Monzón, A.-D., González, E., Galeano Samaniego, M. del P., Leguizamón Rojas, C. A., & Rasche Alvarez, J. W. (2018). *Azospirillum brasilense* y nitrógeno en maíz (*Zea mays* L. var. *amylacea*) en suelo arenoso. *XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades del Grupo Montevideo*.
<http://hdl.handle.net/20.500.14066/2777>
- Fariza, S. I., Heck, M. I., De Lucía, A. D., & Blaschik, J. A. (2017). *Evaluación agronómica de cultivares de sorgo granífero en la EEA Cerro Azul. Campañas 2013/14 y 2014/15* (Informe Técnico N.º 101/2017). EEA INTA Cerro Azul.
https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/10064/INTA_CRMisiones_EEACerroAzul_Fariza_SA_Evaluacion_agronomica_de_cultivares_de_sorgo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Grellet Naval, N., Vera, L., Leggio Neme, F., Fernández González, P., Sánchez Ducca, A., Fernández de Ullivarri, J., ... & Tortora, M. L. (2017). Evaluación de la cepa *Azospirillum brasilense* Az39 como biofertilizante para el cultivo de sorgo azucarado. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 94(1), 31–39.
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1851-30182017000100004
- Nakao, A. H., Pereira Souza, M. F., & Otros. (2014). Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via foliar. *Enciclopédia Biosfera*, 10(18).
<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/Resposta%20do%20sorgo.pdf>
- Palma-López, D. J., & Sánchez-Hernández, R. (Comps.). (2023). *División III: Uso y manejo del suelo*. En F. Bautista & F. Ayala (Eds.), *Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo* (311 pp.). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
https://www.smcsmx.org/files/2023/LIBRO_3_2023.pdf
- Plaza Rodríguez, J. de Jesús. (2015). *Evaluación del comportamiento agronómico y rendimiento de grano del híbrido de sorgo (Sorghum vulgare L.) Pioneer 83G19, sometido a tres densidades de siembra y tres distancias entre hileras en la zona de Vincés* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redirect/12240?mode=full>
- Ramos Castro, D. A., & Rodríguez Sánchez, J. N. (2024). *Efecto del nitrógeno en adición de Azospirillum brasilense y bioactivadores de microorganismos del suelo en el cultivo del maíz (Zea mays L.) Dorado F1 y su rentabilidad, Matagalpa, 2023* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria].
<https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4951>
- Rios Moyano, D. K., Conde Pulgarín, A., & Rios Moyano, C. F. (2021). Productividad y sostenibilidad del cultivo de sorgo forrajero como alternativa para la alimentación de rumiantes. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad la Salle*, 14(56), 163–190.
<https://doi.org/10.26457/recein.v14i56.2807>
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández García, V., Campos Saldaña, R. A., Cruz Macías, W. O., & López Sánchez, R. (2023). Seed treatments with salicylic acid and *Azospirillum brasilense* enhance growth and yield of maize plants (*Zea mays* L.) under field conditions. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 55(1), 17–26.
<https://doi.org/10.48162/rev.39.092>

- Rubiños Rivas, T. (2019). *Efecto de dos Momentos de Inoculación de Azospirillum Spp. Nativas en el desarrollo vegetativo de Zea Mays L. en condiciones de invernadero*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/7086>
- Zeffa, D. M., Perini, L. J., Silva, M. B., de Sousa, N. V., Scapim, C. A., Oliveira, A. L. M. D., Teixeira do Amaral, J. A., & Simões, A. G. L. (2019). *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. *PLoS ONE*, 14(4), e0215332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>