

# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE BACTERIAS PGPR PARA MITIGAR EL ESTRÉS HÍDRICO Y MEJORAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SORGO (*SORGHUM BICOLOR*)

Ayoub I<sup>1\*</sup>; Bigatton E<sup>1</sup>; Ortiz D<sup>2</sup>; Archilla V<sup>1</sup>; Merlo C<sup>1</sup>; Vazquez C<sup>1</sup>; Moreno MV<sup>2</sup>.

1 Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Ing. Félix Aldo Marrone 746, Córdoba capital. Córdoba. Argentina.

2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, Ruta 9 Km. 636, Córdoba, Argentina.

\*iayoub@unc.edu.ar

ASSESSING THE POTENTIAL OF PGPR BACTERIA TO MITIGATE WATER STRESS AND IMPROVE SORGHUM (*SORGHUM BICOLOR*) CROP YIELD

## Abstract

Sorghum (*Sorghum bicolor*) is the fifth most important cereal globally, with production reaching 60.2 million tons/year. The American continent contributes 38.1% of this yield. In Argentina, production averaged 2.92 million tons over the last five seasons, peaking at 3.5 million tons in 2021/22. *Sorghum's* resilience to drought and heat stress, makes it crucial for global food security amid climate change. However, its tolerance is not absolute requiring complementary strategies like using Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR). PGPR, including *Bacillus* and *Pseudomonas* genera, enhances crop growth and yield through phytohormone production and nitrogen fixation. This study evaluated the impact of two PGPR strains on *sorghum* yield under water stress conditions. The experiment was conducted at Manfredi Agricultural Experimental Station using *sorghum* line Tx642. Two PGPR strains (*Bacillus velezensis* and *Pseudomonas* sp.) were tested under drought and optimal conditions. Results indicated that *Pseudomonas* sp. (P7) increased yield by 36% under drought stress, outperforming *Bacillus velezensis* (B1) at 25% and the control. Under optimal conditions, both strains improved yield by 10-18% compared to the control, though there were no significant differences in thousand-grain weight. These findings suggest PGPR, especially *Pseudomonas* sp., can significantly enhance *sorghum* yield, offering a sustainable solution for crop resilience and productivity.

## **Keywords**

Sorgo, drought stress, yield improvement, sustainable agriculture

## **Palabras claves**

Sorgo, sequía, rendimiento, agricultura sustentable.

## **Introducción**

El sorgo es originario de África subsahariana donde fue domesticado por primera vez hace 5000 años (Khalifa & Eltahir, 2023). Actualmente, este cereal ocupa el quinto lugar en importancia a nivel mundial (Hao et al., 2021; Ndlovu et al., 2021). Siendo el rendimiento en grano promedio de las últimas dos décadas de 60,2 millones de tn (Mt) (USDA, 2024). Del total el 38,1% se produce en el continente americano (De Bernardi, 2019). En Argentina, el promedio de producción de las últimas cinco campañas es de 2,92 Mt, destacándose la campaña 2021/2022 donde se produjeron 3,5 Mt, mientras que en la campaña 2022/2023 la producción alcanzó las 2,5 Mt (Bolsa de Comercio de Rosario, 2023). Es ampliamente conocido que el sorgo es un cultivo que presenta tolerancia a condiciones adversas tales como estrés hídrico y térmico, lo cual lo convierte en una alternativa importante para suplir la creciente demanda alimentaria mundial, bajo las condiciones imperantes de cambio climático (Khalifa & Eltahir, 2023). En la última década las pérdidas globales por estrés hídrico alcanzaron U\$S 30 billones, asimismo, más de 1,84 billones de personas son afectadas por las sequías y se espera que la escasez de agua se agrave en las próximas décadas, amenazando la producción alimentaria. Si bien el sorgo tolera el déficit hídrico, no escapa a los efectos nocivos del mismo (Khalifa y Eltahir, 2023). Es por ello que el uso de bioinsumos, principalmente formulados en base a rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) (Basu et al., 2021), se presenta como un importante complemento para incrementar su tolerancia al estrés hídrico. Diversas especies de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, entre otros presentan potencial como PGPR (Kumar et al., 2019). Estos microorganismos colonizan la rizósfera de los cultivos promoviendo el crecimiento y rendimiento de los mismos mediante diversos mecanismos (Zarei et al., 2019). Estos mecanismos pueden clasificarse en directos e indirectos. Dentro de los primeros podemos citar, la producción de fitohormonas (auxinas, citoquininas, giberelinas, etc.), la fijación biológica de nitrógeno, producción de enzimas y sideróforos y solubilización de nutrientes. Mientras que los mecanismos indirectos incluyen la competencia por espacio y nutrientes, la síntesis de antibióticos, producción de enzimas y de compuestos orgánicos volátiles (COVs), la resistencia sistémica inducida y la osmoprotección (Kour et al., 2020). Es por ello

que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos cepas PGPR sobre el rendimiento de una línea de sorgo sometida a estrés hídrico.

## **Materiales y Métodos**

El experimento fue llevado a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Manfredi perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-EEA Manfredi), en el invernadero perteneciente al grupo de Biotecnología (-31.85 S, -63.73 O).

Se utilizaron semillas de sorgo pertenecientes a la línea de sorgo Tx642, provistas por el grupo de mejoramiento genético vegetal de sorgo de INTA. El sustrato compuesto por tierra y arena (50:50), fue expuesto previamente a un proceso de solarizado a fin de reducir la carga microbiana (Ayoub et al., 2023). Macetas con una capacidad de 15 litros, fueron llenadas con 12 kg de sustrato cada una y ubicadas según un diseño de bloques completamente aleatorizado con tres bloques y un total de 10 macetas por tratamiento y por bloque.

### Microorganismos

Se evaluaron dos cepas PGPR una *Bacillus velezensis* (B1) y *Pseudomonas* sp. (P7) previamente aisladas y caracterizadas genéticamente por el laboratorio de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (MT377595.1, GeneBank) (Clark et al., 2016) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/?term=Bigatton>). Las cepas fueron cultivadas e incubadas en medio tripticosa soya caldo a 28-30°C en agitación (150 rpm) durante 24 h.

### Métodos

Previo a la siembra las semillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% de cloro activo durante (1-2 min), curadas con Thiabendazole (15 g L<sup>-1</sup>), Fludioxonil (2,5 g L<sup>-1</sup>) y Methalaxil-M (2 g L<sup>-1</sup>) e inoculadas con las bacterias a evaluar a una concentración de 1x10<sup>9</sup> UFC mL<sup>-1</sup>. Para las semillas del tratamiento control, se utilizó agua estéril en la misma proporción que el inoculante.

Los regímenes hídricos utilizados fueron dos, control regado con el contenido de humedad a 70% de capacidad de campo (CC) y déficit hídrico (DH) moderado a 30% de CC (EH). Para el cálculo del DH se consideró la humedad gravimétrica (Hg) a CC que corresponde al agua retenida en el sustrato luego de ser saturado y la Hg al punto de marchitez permanente (PMP) que corresponde al contenido de agua del sustrato cuando la planta se marchita y no recupera la turgencia con 100% humedad relativa. La Hg DH se calculó a partir de la siguiente expresión:  $Hg_{DH} = [(Hg_{CC} - Hg_{PMP}) * 0,3] + Hg_{PMP}$ .

En cuanto al diseño experimental se realizaron 5 tratamientos, considerando dos condiciones hídricas (control a 70% de capacidad de campo (CC) y déficit hídrico moderado 30% de CC), dos cepas y un control sin inocular. Se sembraron 3 semillas por maceta y después de la emergencia de la primera hoja se ralearon las plantas excedentes dejando solo una. Desde este momento y hasta el estadio donde inició el estrés todas las macetas fueron mantenidas bajo riego (70% CC). A los 48 días después de la siembra (estadio 5 inicio de panoja embuchada) se suspendió el riego para alcanzar el déficit hídrico propuesto. Dicho estrés se aplicó durante 10 días consecutivos. Alcanzado el déficit hídrico, el riego se realizó en base a las demandas de cada maceta teniendo en cuenta el consumo diario de agua y el tipo de tratamiento. El consumo se determinó por medio de gravimetría por pesado diario de las macetas.

En madurez fisiológica, las variables evaluadas fueron el rendimiento (R en g planta<sup>-1</sup>), el número de granos (NG en planta<sup>-1</sup>) y el peso de granos (PG en g 1000<sup>-1</sup>), para ello las panojas fueron secadas en estufa a peso constante y los valores ajustados a humedad de cosecha (14%). El análisis estadístico se realizó mediante un modelo lineal general y mixto para cada variable y un análisis de comparación de medias mediante la prueba LSD de Fischer ( $p > 0,05$ ) (Di-Rienzo et al., 2017).

## **Resultados y Discusión**

En cuanto al rendimiento se observó que tanto a CC como en condiciones de DH, el tratamiento con P7 superó a B1 y a su vez estos dos fueron superiores al control (10 a 18% CC) (Tabla 1). En ensayos realizados con sorgo sometido a estrés hídrico (Kakde et al., 2021), los valores de rendimiento obtenidos (entre 9 a 14% según las PGPR utilizadas) fueron levemente menores a los reportados en nuestro estudio (24 a 36%). Investigadores informaron aumentos de rendimiento del 9% en ensayos realizados con sorgo y diferentes cepas PGPR (Chattha et al., 2017). Asimismo, Alekhya & Gopalakrishnan (2016), encontraron aumentos del 3 al 17% en el rendimiento en un ensayo realizado en sorgo inoculado con diferentes cepas de *Streptomyces* spp. Resultados similares (en condiciones de CC) fueron obtenidos en ensayos realizados utilizando dos cultivares de maní bajo riego e inoculados con cepas de *Bacillus* sp. y *Pseudomonas* sp. En este sentido, los investigadores reportaron incrementos del 20% al 38% en el rendimiento (según cepa y cultivar) respecto al control (Bigatton et al., 2024). Por otra parte, Mubeen et al. (2021) determinaron incrementos superiores al 40 % en el cultivo de maíz cuando éste fue inoculado con *Bacillus cereus* y *Pseudomonas putida* (40 a 53% respectivamente), destacándose esta última sobre *Bacillus* coincidiendo con el patrón detectado en este trabajo.



**Tabla 1.** Rendimiento (g planta<sup>-1</sup>) en madurez fisiológica bajo las dos condiciones hídricas para los tres tratamientos evaluados.

| Condición hídrica | Tratamiento | Medias       |
|-------------------|-------------|--------------|
| CC                | P7          | 15,15±0,30 A |
| CC                | B1          | 14,12±0,31 B |
| CC                | Control     | 12,76±0,32 C |
| EH                | P7          | 10,31±0,28 D |
| EH                | B1          | 9,4±0,32 E   |
| EH                | Control     | 7,53±0,30 F  |

CC: 70% de capacidad de campo. EH: 30% de CC. P7: cepa de *Pseudomonas* sp. B1: cepa de *Bacillus velezensis*. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

En el caso de PG1000 no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tabla 2). Mientras que para NG en condiciones de CC, ambas cepas superan al control, pero sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Contrariamente, en ensayos realizados con PGPR en la India (Vijayalakshmi et al., 2020), se obtuvieron valores superiores (59% más que el control sin microorganismos). En condiciones de déficit hídrico se destacó la cepa P7 que superó al control estresado.

**Tabla 2.** Número de granos y peso de granos por planta en madurez fisiológica bajo las dos condiciones hídricas para los tres tratamientos evaluados.

| Condición hídrica | Tratamiento | Medias de NG    | Medias de PG1000 (g) |
|-------------------|-------------|-----------------|----------------------|
| CC                | P7          | 429,43±22,76 A  | 36,01±1,21 A         |
| CC                | B1          | 412,15±23,29 A  | 35,06±1,23 A         |
| CC                | Control     | 368,53±23,84 B  | 35,73±1,25 A         |
| EH                | P7          | 296,02±21,10 C  | 35,95±1,14 A         |
| EH                | B1          | 261,55±23,83 CD | 36,86±1,25 A         |
| EH                | Control     | 204,57±22,69 D  | 37,50±1,20 A         |

CC: 70% de capacidad de campo. EH: 30% de CC. P7: cepa de *Pseudomonas* sp. B1: cepa de *Bacillus velezensis*. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## Conclusiones

Este estudio demuestra el potencial de las PGPR en la mejora del rendimiento del sorgo bajo condiciones óptimas y de estrés hídrico. La cepa de *Pseudomonas* sp. P7 mostró una mejora notable en el rendimiento, superando tanto al *Bacillus velezensis* B1 como al control no inoculado. Estos hallazgos sugieren que las PGPR pueden ser una herramienta valiosa para aumentar la resiliencia del sorgo frente a la sequía, contribuyendo a prácticas agrícolas sostenibles y a la seguridad alimentaria global en un contexto de cambio climático.

Futuros estudios deberían explorar la aplicación de las PGPR en distintos cultivares de sorgo y en diversas condiciones ambientales y los mecanismos que inducen la mejora de rendimiento.

### **Financiamiento**

Este trabajo fue apoyado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA PE I110), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Universidad Nacional de Córdoba (SECYT-UNC / PROIINDIT-UNC).

### **Bibliografía**

- Alekhya, G., & Gopalakrishnan, S. (2016). Plant growth-promotion by *Streptomyces* spp. in sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *African Journal of Biotechnology*, *15*(33), 1781–1788.  
<https://doi.org/10.5897/AJB2016.15423>
- Ayoub, I., Bigatton, E., Archilla, M., Lucini, E. I., Vázquez, C., Moreno, V., & Ortiz, D. (2023). Effects of solarization on the biological and chemical properties of a substrate. *AgriScientia*, *40*(1), 101–109.  
<https://doi.org/10.31047/1668.298x.v1.n40.40311>
- Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects. *Sustainability*, *13*(3), 1140. <https://doi.org/10.3390/su13031140>
- Bigatton, E. D., Ayoub, I., Palmero, F., Castillejo, M. Á., Vázquez, C., Lucini, E. I., & Haro, R. J. (2024). Plant-growth promoting rhizobacteria on peanuts: Effects on yield determination, growth rates, and radiation use efficiency in field trials in Argentina. *European Journal of Agronomy*, *154*, 127113.  
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127113>
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2023). *Mercados*.
- Chattha, M. B., Iqbal, A., Chattha2, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Ashraf, I., Faisal, M., & Usman, M. (2017). PGPR Inoculated-Seed Increases the Productivity of Forage Sorghum under Fertilized Conditions. *Journal of Basic & Applied Sciences*, *13*, 150–153.
- Clark, K., Karsch-Mizrachi, I., Lipman, D. J., Ostell, J., & Sayers, E. W. (2016). GenBank. *Nucleic Acids Research*, *44*(D1), 67–72.  
<https://doi.org/10.1093/nar/gkv1276>
- De Bernardi, L. (2019). *Perfil del Sorgo*.

- Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, W. (2017). *InfoStat versión 2017* (2017). Grupo InfoStat, FCA Universidad Nacional de Córdoba.
- Hao, H., Li, Z., Leng, C., Lu, C., Luo, H., Liu, Y., Wu, X., Liu, Z., Shang, L., & Jing, H.-C. (2021). Sorghum breeding in the genomic era: opportunities and challenges. *Theoretical and Applied Genetics*, *134*(7), 1899–1924.  
<https://doi.org/10.1007/s00122-021-03789-z>
- Kakde, N., Hanwate, G. R., & Gourkhede, P. H. (2021). Response of Microbial Consortia Culture Inoculation to Soil Moisture Status, Proline and Yield of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, *8*(4), 05–13. <https://doi.org/doi.org/10.32628/IJSRST>
- Khalifa, M., & Eltahir, E. A. B. (2023). Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1184373>
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H. S., & Saxena, A. K. (2020). Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *23*, 101487.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487>
- Kumar, A., Patel, J. S., Meena, V. S., & Srivastava, R. (2019). Recent advances of PGPR based approaches for stress tolerance in plants for sustainable agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *20*, 101271.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101271>
- Mubeen, M., Bano, A., Ali, B., Islam, Z. U., Ahmad, A., Hussain, S., Fahad, S., & Nasim, W. (2021). Effect of plant growth promoting bacteria and drought on spring maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *53*(2). [https://doi.org/10.30848/PJB2021-2\(38\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-2(38))
- Ndlovu, M., Clulow, A. D., Savage, M. J., Nhamo, L., Magidi, J., & Mabhaudhi, T. (2021). An Assessment of the Impacts of Climate Variability and Change in KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Atmosphere*, *12*(4), 427.  
<https://doi.org/10.3390/atmos12040427>
- USDA. (2024). *Production - Sorghum*.  
<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0459200>



Vijayalakshmi, V., Pradeep, S., Manjunatha, H., Krishna, V., & Jyothi, V. (2020). The Impact of Nitrogen Fixers and Phosphate Solubilizing Microbes on Sorghum (*Sorghum bicolor*) Yield. *Current Biotechnology*, 9(3), 198–208. <https://doi.org/10.2174/2211550109666191218125559>

Zarei, T., Moradi, A., Kazemeini, S. A., Farajee, H., & Yadavi, A. (2019). Improving sweet corn (*Zea mays* L. var *saccharata*) growth and yield using *Pseudomonas fluorescens* inoculation under varied watering regimes. *Agricultural Water Management*, 226, 105757. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105757>