

DESARROLLO RADICAL DE MAÍZ BAJO DISPONIBILIDAD REDUCIDA DE FÓSFORO: EFECTO DE *PSEUDOMONAS RHODESIAE* ZME4 Y ROCA FOSFÓRICA

Vallejo D¹; Groppa MD^{2, 3}; Puente M¹; Piccinetti C¹; Berca Espinosa J^{1,2}; García J¹

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola, Argentina

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

³Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina

vallejo.daniela@inta.gob.ar; mgroppa@ffyb.uba.ar; puente.mariana@inta.gob.ar;

piccinetti.carlos@inta.gob.ar; bercaespinosa.julian@inta.gob.ar; garcia.julia@inta.gob.ar

RADICAL DEVELOPMENT OF MAIZE UNDER REDUCED PHOSPHORUS AVAILABILITY:
EFFECT OF *PSEUDOMONAS RHODESIAE* ZME4 AND ROCK PHOSPHATE

Abstract

Argentina projects a record corn harvest of 70 million tons for the 2025/2026 season, a milestone for the last 20 years driven by the increase in planted area, favorable rains, and the use of biotechnology and agrochemicals. However, the excessive use of fertilizers could favor the process of eutrophication. In this scenario, biological stimulants based on plant growth-promoting bacteria appear as a key solution to maintain yields sustainably. The genus *Pseudomonas* stands out for its ability to release phosphorus retained in the soil and make it available to plants. The objective of this study was to evaluate the effect of inoculation with the ZME4 strain of *Pseudomonas rhodesiae*, applied alone or in combination with rock phosphate, on the growth parameters of corn plants under conditions of partial phosphorus fertilization deficiency. The results indicated that the combination of inoculation with *P. rhodesiae* ZME4 together with rock phosphate in early stages of the corn crop produced improvements in root growth.

Palabras clave: maíz, *Pseudomonas*, fósforo, roca fosfórica

Keywords: maize, *Pseudomonas*, phosphorus, rock phosphate

Introducción

El maíz es uno de los principales cultivos a nivel mundial. En Argentina, se estima que la campaña 2025/2026 alcanzará una cosecha récord cuya producción alcanzará a 70.000.000 de toneladas, lo que constituye la más alta en los últimos 20 años. Este incremento se atribuye principalmente a la expansión de la superficie sembrada, a las condiciones climáticas favorables debido a las precipitaciones que se extendieron durante la mitad del 2025, así como a la incorporación de tecnologías como la adopción de materiales genéticamente modificados, uso de insumos de síntesis química, como fungicidas, insecticidas, herbicidas y fertilizantes. Sin embargo, la aplicación excesiva de estos insumos, particularmente de los fertilizantes, podría favorecer el proceso de eutrofización por acumulación de nutrientes en los cuerpos de agua. En este contexto, resulta necesario implementar alternativas de manejo sostenibles que permitan mantener los rendimientos, reduciendo la contaminación ambiental por el uso excesivo de insumos químicos. Dentro de estas alternativas se encuentran los estimulantes biológicos a base de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, las cuales favorecen

el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de diferentes mecanismos de acción entre los que se incluyen la fijación biológica del nitrógeno, la producción de fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas, de sideróforos, de sustancias antibióticas, la mineralización y la solubilización de diversas fuentes de fosfatos insolubles como la roca fosfórica. Dentro de los géneros bacterianos más estudiados se encuentra *Pseudomonas*, en el que la solubilización de fosfatos insolubles constituye uno de sus mecanismos más relevantes, ya que permite transformar formas insolubles de fósforo en compuestos disponibles para la absorción por las plantas.

Objetivos

Evaluar el efecto de la inoculación con la cepa ZME4 de *Pseudomonas rhodesiae*, aplicada sola o en combinación con roca fosfórica (RF), sobre los parámetros de crecimiento de plantas de maíz bajo condiciones de deficiencia parcial de fertilización fosforada.

Materiales y métodos

Para estos ensayos fue empleada la cepa ZME4 por su reconocida capacidad de solubilizar fuentes de fosfato de baja solubilidad como fosfato tricálcico, hidroxiapatita y roca fosfórica (Maroniche *et al.*, 2016; Vallejo *et al.*, 2025). Se utilizaron semillas de maíz híbrido DM 2738 RR2 desinfectadas superficialmente mediante la siguiente secuencia de lavados: 1 min con etanol 80 %, 2 min con hipoclorito de sodio 0,1 %, 30 s con etanol 80 % y finalmente 10 enjuagues con agua destilada estéril. La siembra fue realizada en macetas de 330 mL de capacidad conteniendo sustrato inerte estéril compuesto por una mezcla de perlita, arena y vermiculita en una proporción 1:3:3. Luego, las macetas fueron colocadas sobre bandejas plásticas, a través de las cuales fue realizado el riego con solución Hoagland modificada (Hoagland & Arnon, 1950) conteniendo el 50 % de su concentración normal de fósforo (P) (KH_2PO_4 al 50 %), con el objetivo de generar condiciones de déficit parcial de este nutriente. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

T1- Riego con solución Hoagland con 50 % de P

T2- Riego con solución Hoagland con 50 % de P + 1 g RF (debajo de la semilla) + ZME4

T3- Riego con solución Hoagland con 50 % de P + ZME4

La inoculación con la cepa fue realizada sobre la semilla luego de la siembra. La dosis empleada fue de 1×10^{10} (UFC/mL). Dosis requerida para garantizar la liberación de P soluble desde la RF para ser utilizado por las plantas. Es relevante mencionar que, en estudios previos la RF por sí sola no ejerció efecto sobre las raíces de plantas de maíz (datos no publicados).

Los ensayos se realizaron en cámara de crecimiento vegetal con un fotoperíodo de 12 h y una temperatura entre 25 y 30 °C. La cosecha se realizó a los 7 días desde la siembra, momento en el que se midió la longitud total de la raíz siguiendo la metodología de Giovannetti & Mosse (1980), empleando 10 repeticiones por tratamiento. En este procedimiento, todas las raíces de una planta se cortaron en fragmentos de 1 cm y se colocaron en bandejas transparentes de 10,2 cm por 10,2 cm, subdivididas en cuadrículas con 1 cm de separación entre líneas. Para favorecer la

distribución al azar de las raíces se agregó agua a las bandejas. Posteriormente, se registró el número de intersecciones de las raíces con las líneas tanto verticales como horizontales mediante la observación con lupa, con una amplificación 10X. La longitud total de las raíces fue estimada mediante la fórmula de Newman (1966):

$$R = \frac{\pi \cdot N \cdot A}{2H}$$

donde R: longitud de raíces (cm); N: número de intersecciones; A: área de la superficie donde están distribuidas las raíces (104,04 cm²) y H: longitud total de las raíces de referencia (163,2 cm).

Asimismo, se evaluaron la longitud, el peso fresco y el peso seco de la parte aérea (LPA, PFA y PSA), así como la longitud de la raíz principal (LR).

Los ensayos fueron realizados 2 veces y su diseño fue completamente aleatorizado. Los resultados fueron analizados con el programa estadístico Infostat versión 2020 por medio de ANOVA y las medias comparadas mediante el test Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los valores de las variables LPA, PFA, PSA, LR y LTR (metodología de Giovannetti & Mosse, 1980; Figura 1). Las plantas del T2 mostraron valores de longitud total de raíces significativamente mayores que las plantas de T1 y T3. Este resultado indicaría que el maíz que es inoculado con la cepa ZME4 en combinación con la RF presenta mayor cantidad de raíces secundarias aumentando, de este modo, la superficie total de absorción. Un resultado similar se encontró en plantas de tomate inoculadas con *Bacillus lechiformes* (Muthuraja *et al.*, 2023). Esta mayor longitud total de raíces mejoraría la eficiencia de absorción de nutrientes de la planta y en consecuencia su crecimiento. Por otra parte, se encontró que la longitud de la raíz principal de las plantas del T1 fue mayor que la de las plantas de T2 y T3 (Figura 2). La menor longitud radicular observada en T2 podría interpretarse como una respuesta a una mayor disponibilidad de P generada por la actividad solubilizadora de la cepa ZME4 en presencia de RF, reduciendo la necesidad de la planta de explorar un mayor volumen de sustrato para la adquisición de P. Sin embargo, la reducción de la longitud radicular observada en T3, sugiere que intervienen otros mecanismos asociados a la interacción planta-bacteria, ya que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal pueden interferir en las vías hormonales de las plantas, modular sus niveles y de esta manera, provocar cambios en la arquitectura de la raíz (Ambreetha & Balachandar, 2019). Resultados similares fueron reportados por Chu *et al.* (2020) en plantas de *Arabidopsis thaliana*, donde las plantas no inoculadas presentaron raíces de mayor longitud que las inoculadas con una cepa perteneciente al grupo de *Pseudomonas putida*.

Por el contrario, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los parámetros LPA, PFA y PSA entre los tratamientos evaluados.

Tabla 1. Crecimiento aéreo y radicular de plantas de maíz de 7 días en los diferentes tratamientos evaluados

Tratamientos	LPA (cm)	PFA (g)	PSA (g)	LR (cm)	LTR (cm)
T1	12,41 a	0,43 a	0,034 a	14,00 a	19,02 b
T2	12,19 a	0,46 a	0,034 a	11,46 b	26,39 a
T3	11,15 a	0,42 a	0,033 a	11,79 b	19,36 b

T1: Riego con solución Hoagland con 50 % de P, T2: Riego con solución Hoagland con 50 % de P + RF + ZME4, T3: Riego con solución Hoagland con 50 % de P + ZME4. LPA, PFA, PSA (longitud, peso fresco y seco de la parte aérea, respectivamente), LR (longitud de la raíz principal) y LTR (longitud total de la raíz). Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$).



Figura 1. Medición de la longitud total de la raíz (LTR) con el método Giovannetti & Mosse (1980).



Figura 2. Medición de la longitud de la raíz principal de plantas de maíz de 7 días en los diferentes tratamientos evaluados (T1: Riego con solución Hoagland con 50 % de P, T2: Riego con solución Hoagland con 50 % de P + RF + ZME4, T3: Riego con solución Hoagland con 50 % de P + ZME4).

Conclusión

En etapas tempranas del cultivo de maíz, la inoculación con la cepa ZME4 de *P. rhodesiae* junto con la adición de RF modifica la arquitectura radicular. Este tratamiento incrementa significativamente la longitud total de la raíz, aumentando así la superficie de absorción de nutrientes bajo condiciones de deficiencia parcial de P. En esta etapa evaluada, si bien hubo cambios significativos en la morfología de las raíces, no se observaron diferencias significativas en los parámetros de la parte aérea. Por lo tanto, se



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

puede concluir que los beneficios observados comienzan por el fortalecimiento del sistema radicular.

En este contexto, los resultados obtenidos son fundamentales para el diseño de futuros ensayos de mayor duración, ya que demuestran que la inoculación con *P. rhodesiae* ZME4 junto a la RF es una estrategia viable en la germinación, etapa en la que la plántula necesita asegurar su implantación en condiciones de baja disponibilidad de P.

Bibliografía

- Ambreetha, S., & Balachandar, D. (2019). Rhizobacteria-mediated root architectural improvement: a hidden potential for agricultural sustainability. Plant growth promoting rhizobacteria for agricultural sustainability: from theory to practices, 111-128.
- Chu, T. N., Bui, L. V., & Hoang, M. T. T. (2020). *Pseudomonas* PS01 isolated from maize rhizosphere alters root system architecture and promotes plant growth. *Microorganisms*, 8(4), 471.
- Giovannetti, M.; Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist*, 489-500.
- Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil (Circular 347). California Agricultural Experiment Station, University of California.
- Maroniche, G. A.; Rubio, E. J.; Consiglio, A.; Perticari, A. (2016). Plant-associated fluorescent *Pseudomonas* from red lateritic soil: beneficial characteristics and their impact on lettuce growth. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 62(5), 248-257.
- Muthuraja, R.; Muthukumar, T.; Natthapol, C. (2023). Drought tolerance of *Aspergillus violaceofuscus* and *Bacillus licheniformis* and their influence on tomato growth and potassium uptake in mica amended tropical soils under water-limiting conditions. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1114288.
- Newman, E. I. (1966). A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of applied Ecology*, 139-145.
- Vallejo, D. A.; García, J. E.; Maroniche, G. A.; Piccinetti, C. F.; Puente, M. L.; Rubio, E. J.; Groppa, M. D. (2025). Two Isolates From Plants Cultivated in Red Lateritic Soils are Good Candidates for the Development of Microbial Biostimulants. *Current Microbiology*, 82(10), 488.