

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Respuesta agronómica del cultivo del arroz a la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal

Agronomic response of rice cultivation to inoculation with plant growth-promoting bacterium

Luis Tarquino Llerena-Ramos¹ , Juan José Reyes-Pérez² , Ana Ruth Álvarez-Sánchez² , Roger Alexander Pincay-Ganchozo³ 

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado, Maestría en Agronomía, Mención Producción Agrícola Sostenible, Quevedo, Los Ríos, Ecuador

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Quevedo, Los Ríos, Ecuador

³ Consultor Independiente, Buena Fe, Los Ríos, Ecuador

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 5/05/2021
Aceptado: 30/06/2021

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Luis Tarquino Llerena-Ramos
llerenaramos@uteq.edu.ec



RESUMEN

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal en las plantas son un grupo de diferentes microorganismos que pueden incrementar el crecimiento y la productividad de los cultivos agrícolas. Con el objetivo de evaluar la respuesta agronómica del cultivo del arroz a la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal se realizó un experimento en el campo experimental “La María”, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Las semillas fueron sembradas en bandejas de poliestireno, a los 21 días después de la siembra se trasplantaron las plántulas al campo a una distancia de 0,25 x 0,25 m entre plantas e hileras respectivamente. Los tratamientos consistieron en un tratamiento control (sin inoculante bacteriano), inoculación de dos cepas bacterianas a dos concentraciones (*Azotobacter* sp. 1×10^3 UFC mL⁻¹ y 1×10^9 UFC mL⁻¹; *Azospirillum brasilense* 1×10^3 UFC mL⁻¹ y 1×10^9 UFC mL⁻¹). La inoculación fue realizada antes del trasplante, sumergiendo las plántulas en las soluciones bacterianas por 20 minutos. Las variables bajo estudio fueron: altura de planta, días a la floración, número de granos por espiga, peso de 1000 granos y rendimiento. Los resultados mostraron que las plantas inoculadas con *Azotobacter* sp. 1×10^9 UFC mL⁻¹ fueron más precoces, obtuvieron las mayores alturas de plantas, alcanzaron mayor

número de granos por espigas, peso de 1000 granos y rendimientos.

Palabras clave: *Azotobacter* sp., *Azospirillum brasilense*, fenología, rendimiento

ABSTRACT

Plant growth promoting bacteria in plants are a group of different microorganisms that can increase the growth and productivity of agricultural crops. In order to evaluate the agronomic response of the rice crop to inoculation with plant growth-promoting bacteria, an experiment was carried out in the experimental field “La María”, belonging to the State Technical University of Quevedo. The seeds were sown in polystyrene trays, 21 days after sowing the seedlings were transplanted to the field at a distance of 0.25 x 0.25 m between plants and rows respectively. The treatments consist of a control treatment (without bacterial inoculant), inoculation of two bacterial strains at two concentrations (*Azotobacter* sp. 1×10^3 CFU mL⁻¹ and 1×10^9 CFU mL⁻¹; *Azospirillum brasilense* 1×10^3 CFU mL⁻¹ and 1×10^9 CFU mL⁻¹). Inoculation was carried out before transplantation by immersing the seedlings in the bacterial solutions for 20 minutes. The variables under study were: plant height, days to flowering, number of grains per spike, weight of 1000 grains and yield. The plants inoculated with *Azotobacter* sp. 1×10^9 CFU mL⁻¹ were early, obtained the highest plant heights, reached the highest number of grains per spike, weight of 1000 grains and yields.

Keywords: *Azotobacter* sp., *Azospirillum brasilense*, phenology, yield

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) después del trigo (*Triticum* spp.) es considerado el segundo cereal más importante a nivel mundial, se encuentra en la dieta diaria de 3837 millones de personas que habitan en todo el planeta, posee carbohidratos y aminoácidos esenciales. Por su contenido nutricional hace que tenga alta demanda en los mercados, esto ha hecho que en los últimos años a escala mundial se aumente su producción, recayendo en 769,9 millones de toneladas con un área cultivada de 167 millones de hectáreas (FAO, 2018).

En Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, la superficie cosechada de arroz es de 312,9 miles de hectáreas con una producción de 3 millones de toneladas, siendo las principales provincia productoras Guayas, Los Ríos y Manabí. Este cereal contribuye con el 12 % al PIB agrícola y 0,8 % al PIB Nacional del Ecuador, la agro-cadena del arroz genera altas fuentes de trabajos, su producción se concentra en pequeños y medianos productores que no superan las 5 ha de cultivo.

No obstante, los productores arroceros del Ecuador presentan pérdidas económicas por bajos rendimientos de los granos, lo cual es en gran medida atribuido al uso de pesticidas y

fertilizantes sintéticos, agroquímicos que son adquiridos a elevados precios, haciendo que los costos de producción aumenten. Adicionalmente, poseen impactos negativos sobre el medioambiente al contribuir con la degradación de los suelos y el efecto invernadero.

Lo anterior ha incentivado la búsqueda de alternativas que mejoren el rendimiento del arroz, pero con estrategias amigables con el medio ambiente. En este sentido, la utilización de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) aumenta el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos, también ejercen protección contra el ataque de fitopatógenos (Martínez *et al.*, 2020). Sin embargo, los beneficios óptimos que se obtiene por BPCV varía según la especie tanto bacteriana y del cultivo. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta agronómica del cultivo del arroz a la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental “La María”, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo

(UTEQ). Situado geográficamente a 01°06' de latitud Sur y 79°27' longitud Oeste, a una altitud de 73 msnm. El sitio presenta un clima tropical húmedo, con temperatura anual de 24,8 °C; humedad relativa de 84 %; precipitación anual de 2252,5 mm y heliofanía de 894 horas. El suelo es franco limoso, con pH de 6,5 y topografía irregular.

Siembras de semillas y trasplante de las plántulas

Se utilizaron semillas de arroz, variedad INIAP 15, estas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 2 % por 2 minutos y lavadas tres veces con agua destilada estéril. Posteriormente, fueron sembradas en bandejas de poliestireno, una semilla por orificio. Se regó con agua destilada estéril. A los 21 días después de la siembra (DDS) se realizó el trasplante de las plántulas, a una distancia de 0,25 x 0,25 m respectivamente entre planta y surco.

Preparación del inóculo

Los microorganismos (*Azotobacter* sp. y *Azospirillum brasilense*) utilizados en la investigación fueron obtenidos de la colección privada del laboratorio de microbiología de la UTEQ, Ecuador. En la activación del *Azotobacter* sp. fue usado un matraz con 50 mL de caldo libre de nitrógeno que fue colocado a 30 °C por un periodo de 48 horas. Para la activación de *A. brasilense* se utilizó un Erlenmeyer con 50 mL de medio de cultivo NFB líquido, al mismo se le añadió 2-3 asadas de la bacteria y se puso en agitación constante a 35 °C durante 24 h a 180 rpm. Los cultivos obtenidos fueron utilizados como tratamientos para la inoculación en plántulas de arroz.

Métodos de inoculación

La inoculación se realizó antes del trasplante, excepto en el tratamiento control (T1) donde las plántulas fueron remojadas con agua destilada estéril; en el resto de los tratamientos las raíces fueron sumergidas en suspensiones bacterianas por 20 minutos: T2 (*Azotobacter* sp. 1×10^3 UFC mL⁻¹), T3 (*Azotobacter* sp. 1×10^9 UFC mL⁻¹), T4 (*A. brasilense* 1×10^3 UFC mL⁻¹), T5 (*A. brasilense* 1×10^9 UFC mL⁻¹).

Variables estudiadas

Se determinó la altura de la planta a los 70 DDS, desde la base del tallo hasta el punto de inserción de la panícula. Los días a la floración se evaluaron (de manera visual) cuando las plantas presentaron el 50 % de panículas completamente fuera de la hoja envainadora. Al momento de la cosecha (130 DDS) se calculó el número de granos por espiga, el peso de 1000 granos (g), para lo cual fueron seleccionadas 1000 semillas al azar por tratamiento que fueron pesadas en una balanza de precisión. Se determinó el rendimiento del grano (kg ha⁻¹).

Diseño experimental y análisis estadístico

Los tratamientos fueron distribuidos bajo un diseño de bloques completamente al azar. Los datos fueron tabulados en Excel y procesados estadísticamente en el *software* estadístico Minitab® v.18. Para comprobar si los mismos cumplían con la homogeneidad de varianzas, fue realizada la prueba de Cochran, Hartley-Bartlett. Al comprobar si se distribuyeron los datos de forma normal se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Para determinar la diferencia entre las medias se aplicó la prueba Tukey para $p \leq 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La inoculación de BPCV a diferentes concentraciones generó diferencias estadísticas en la longitud del tallo (Figura 1), recayendo los mayores promedios con el inoculante *Azotobacter* sp. 1×10^9 UFC mL⁻¹. Estos resultados demuestran que una mayor abundancia poblacional de *Azotobacter* sp. sobre las raíces de arroz benefician el crecimiento del tallo. Este fenómeno se encuentra asociado con la colonización interna de esta bacteria en el sistema radicular durante todas las fases vegetativas del cultivo. Este microorganismo mejora en los tejidos la concentración endógena de fito-estimulantes, incrementa la proliferación de raíces laterales y pelos absorbentes, por consiguiente, aumenta la absorción de agua y nutrientes. En este sentido, Abril *et al.* (2017) estudiaron el efecto de *A. chroococcum* y *Bacillus* spp. en el crecimiento de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y

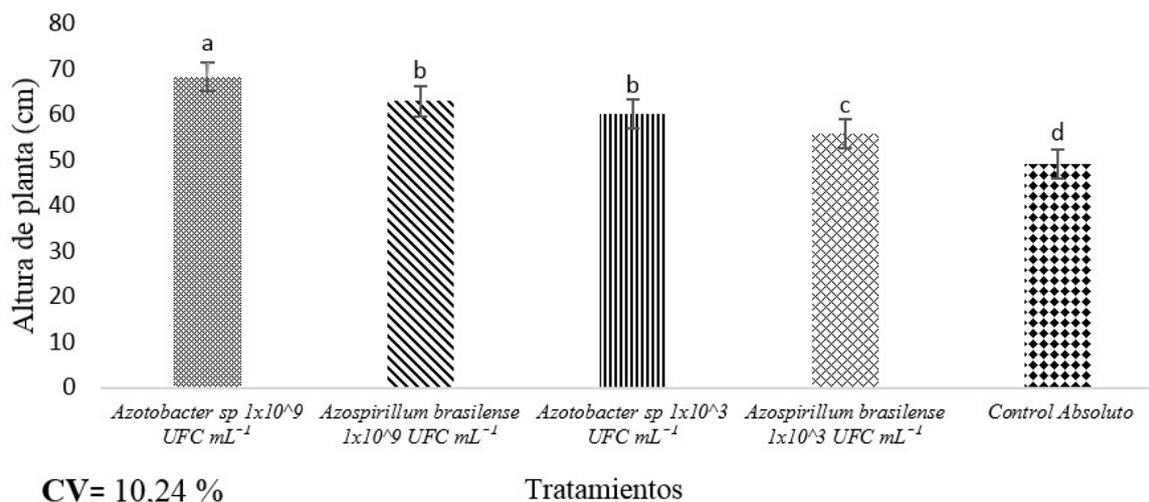


Figura 1. Efecto de las BPCV en la longitud del tallo de plantas de arroz variedad INIAP 15. Medias con letras distintas en las barras, indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). CV= Coeficiente de variación

descubrieron que las plantas inoculadas con *A. chroococcum* exhibieron mayor crecimiento. De igual manera, Ariza *et al.* (2020) al inocular *A. vinelandii* en semillas de *Brachiaria decumbens* Stapf y de *Zea mays* L. encontraron que las dos gramíneas aumentan significativamente sus estructuras morfológicas.

De-Bashan *et al.* (2007) sostienen que la mayoría de las gramíneas inoculadas con *Azospirillum* tienen colonización exógena a nivel radicular, pero son escasas las bacterias que se adhieren a los pelos absorbentes. Por otra parte, Noumavo *et al.* (2016) expresaron

que las bacterias inoculadas en semillas, al no penetrar las raíces, quedan expuestas a la competencia de espacios y nutrientes con otros microbios situados en la rizosfera, siendo afectadas por la fracción abiótica del suelo, lo que ocasiona un bajo efecto en la promoción del crecimiento vegetal.

En la Figura 2 se observan los días a la floración de plantas de arroz inoculadas con BPCV. La inoculación con *Azotobacter sp.* 1×10^9 UFC mL⁻¹ generó precocidad y redujo la floración a 55 días respectivamente. Ruiz-Parrales *et al.* (2020) al evaluar el efecto de la

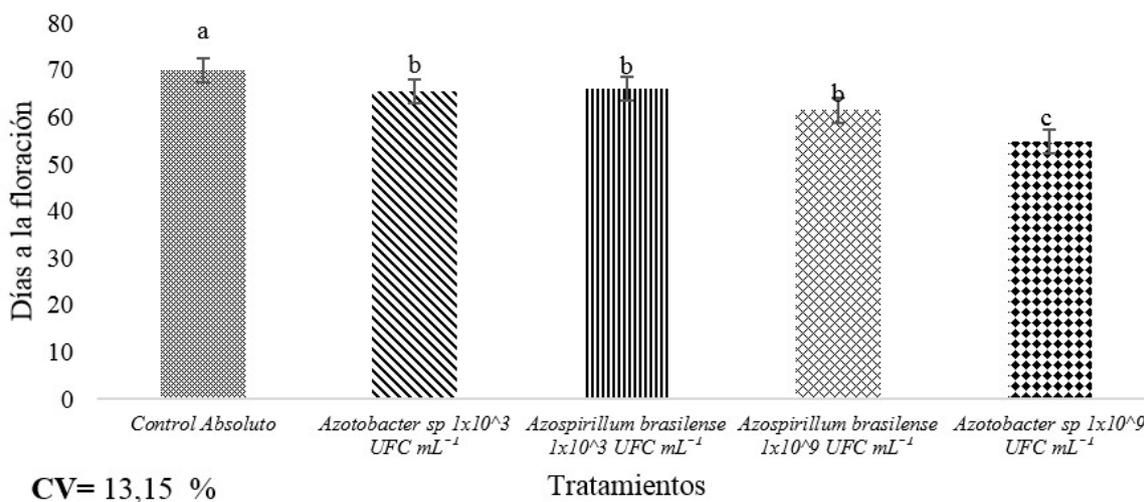


Figura 2. Efecto de las BPCV a los días de floración en plantas de arroz variedad INIAP 15. Medias con letras distintas en las barras, indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). CV= Coeficiente de variación

fertilización química sobre la misma variedad de arroz utilizada (INIAP 15) encontraron promedios de floración que oscilaron entre 68,75 a 70 días. Este resultado demuestra que la inoculación de *Azotobacter* sp. 1×10^9 UFC mL⁻¹ acelera las etapas fenológicas de la variedad de arroz INIAP 15, por una mejor solubilización de nutrientes, síntesis y balance de giberelinas, fitohormonas que induce el proceso de la floración (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

Los análisis estadísticos indican que las plantas inoculadas con las diferentes concentraciones de BPCV presentan diferencias significativas en cuanto al número de granos por espiga, el peso de 1000 granos y el rendimiento (Tabla 1). Los mejores resultados se obtuvieron con la inoculación de *Azotobacter* sp. 1×10^9 UFC mL⁻¹. Este comportamiento está relacionado a que las BPCV aumenta la solubilización de nutrientes a partir de compuestos inorgánicos u orgánicos, también benefician la síntesis de fitohormonas en la rizósfera, esto induce un mayor desarrollo radicular, que incrementa la exploración del suelo, a su vez mejora la absorción de agua y nutrientes (Velasco-Jiménez *et al.*, 2020). En este sentido, Gothandapani *et al.* (2017) sostienen que *Azotobacter* posee la capacidad de fijar N atmosférico, solubilizar P y K, además, sintetiza ácido indolacético y ácido giberélico, compuestos que benefician la proliferación de raíces y mejoran la fito-extracción y traslocación de nutrimentos hacia los distintivos órganos vegetales.

Resultados similares a los obtenidos en esta investigación han sido reportados por Banik *et al.* (2018), quienes encontraron que la inoculación de *Azotobacter* en plántulas de arroz provoca floración temprana, aumenta significativamente el peso de 1000 granos y el rendimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

La inoculación de BPCV incrementa el crecimiento y rendimiento del arroz variedad INIAP 15; sin embargo, al inocular con *Azotobacter* sp. a 1×10^9 UFC mL⁻¹ se obtienen longitudes superiores de los tallos, menor cantidad de días a la floración, mayor número de granos por espigas, mayor peso de 1000 granos y rendimientos más elevados. Los inoculantes bacterianos en plantas de arroz incrementan la producción del cultivo de manera sostenible.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Luis Tarquino Llerena-Ramos: Montaje y ejecución del experimento en campo, toma de datos experimentales, revisión de literatura científica, elaboración del manuscrito.

Juan José Reyes-Pérez: Investigación, metodología, revisión del manuscrito.

Ana Ruth Álvarez-Sánchez: Conceptualización, monitoreo del experimento, revisión del manuscrito.

Tabla 1. Efecto de las BPCV en el número de granos por espiga, peso de 1000 granos y rendimiento

Tratamientos	Número de granos por espiga	peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
<i>Azotobacter</i> sp. 1×10^9 UFC mL ⁻¹	126,73 a	36,08 a	4120,00 a
<i>Azospirillum brasilense</i> 1×10^9 UFC mL ⁻¹	125,63 a	35,20 b	4025,35 b
<i>Azotobacter</i> sp. 1×10^3 UFC mL ⁻¹	115,08 b	35,23 b	3921,82 c
<i>Azospirillum brasilense</i> 1×10^3 UFC mL ⁻¹	111,42 c	33,27 c	3765,35 d
Control Absoluto	108,45 d	28,25 d	2352,63 e
CV (%)	6,01	8,36	16,80

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)
CV= Coeficiente de variación

Roger Alexander Pincay-Ganchozo:
Curación de datos, análisis de datos,
interpretación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, J. L., RONCALLO, B., BONILLA, R. 2017. Efecto de la inoculación con bacterias del género *Bacillus* sobre el crecimiento de *Megathyrus maximus* Jacq, en condiciones de estrés hídrico. *Rev. Agron. Noroeste Argent*, 37 (1): 25-37.

ALCÁNTARA-CORTES, J., ACERO-GODOY, J., ALCÁNTARA-CORTÉS, J., *et al.* 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17(32): 109-129.

ARIZA-RODRÍGUEZ, S., GONZÁLEZ-MURILLO, O., LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. 2020. Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 22 (1): 87-97.

BANIK, A., KUMAR DASH, G., SWAIN, P., *et al.* 2018. Application of rice (*Oryza sativa* L.) root endophytic diazotrophic *Azotobacter* sp. strain Avi2 (MCC 3432) can increase rice yield under green house and field condition. *Microbiological Research*, 219: 56-65.

DE-BASHAN, L.E., HOLGUIN, G., GLICK, B.R., *et al.* 2007. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propositos agricolas y ambientales. In: *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo.* (Eds.) Ferrera-Cerrato, R. and Alarcon, A. Chapter 8. Published by: Editorial Trillas, Mexico City, Mexico, pp. 170-224.

GOTHANDAPANI, S., SEKAR, S., PADARIA, J.C. 2017. *Azotobacter chroococcum*: utilization and potential use for agricultural crop production: an overview. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 4(3): 35-42.

MARTÍNEZ-BLANCO, B., ANTONIO-VEJAR, V., BELLO-MARTÍNEZ, J., *et al.* 2020. Bacterias promotoras de crecimiento vegetal para incrementar la producción de *Lactuca sativa* L. en campo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(2): 449-452.

NOUMAVO, P. A., AGBODJATO, N.A., BABA-MOUSSA, F., *et al.* 2016. Plant growth promoting rhizobacteria: Beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. *Afr. J. Biotechnol*, 15(27):1452-1463.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). 2018. Seguimiento del mercado del arroz. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. En: <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>

RUIZ-PARRALES, Y. G., SÁNCHEZ-VÁSQUEZ, V. L., LÓPEZ-IZURIETA, M. D., *et al.* 2020. Fertilización química basada en análisis de suelo en dos líneas promisorias de arroz. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 5(7): 56-72.

VELASCO-JIMÉNEZ, A., CASTELLANOS-HERNÁNDEZ, O., ACEVEDO-HERNÁNDEZ, G., *et al.* 2020. Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2): 333-345.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.