








Rizobacterias como biomejoradores y biofertilizantes para impulsar la producción de caña de azúcar

Daniel, Perales-Rosas¹; Rocío C., López-González¹; Miguel, Gutiérrez-Fidencio¹; Anahí, Borrás-Enríquez²; Fabiola, Veana¹; Heriberto, Ramírez-Cathí¹; Jorge L., González-Escobar¹

¹ Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Valles. Carretera al Ingenio Plan de Ayala Km 2, Vista Hermosa, Cd Valles, San Luis Potosí, México, C.P. 79010

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana Km. 1080. C.P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

* Autor para correspondencia: jorge.gonzalez@tecvalles.mx

Problema

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo que impulsa la producción de alimentos, proporciona insumos para la industria azucarera y la cogeneración de bioenergías. La producción de la caña de azúcar en México es de gran importancia, ya que aporta el 16.44% del PIB agropecuario y genera 440 mil empleos directos y más de 2.5 millones de empleos indirectos. Sin embargo, a nivel nacional, este cultivo enfrenta un riesgo económico debido a los bajos rendimientos, por ejemplo, en el año 2023 se obtuvieron 69.3 t ha⁻¹ y para el 2024 fue 61.59 ton/ha. Por ejemplo, Colombia reporta rendimientos superiores a 120 t ha⁻¹, lo que muestra la baja competitividad de México en la producción de caña a nivel internacional. La caña de azúcar tiene el potencial de alcanzar mayores rendimientos de biomasa y azúcares, ya que es una de las especies fotosintéticamente más eficientes en el aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, existen múltiples factores que afectan el rendimiento como los requerimientos técnicos, hídricos y nutricionales (Figura 1).

Cómo citar: Perales-Rosas, D., López-González, R. C., Gutiérrez-Fidencio, M., Borrás-Enríquez, A., Veana, F., Ramírez-Cathí, H., & Gonzalez, J. L. Rizobacterias como biomejoradores y biofertilizantes para impulsar la producción de caña de azúcar. *Agro-Divulgación*, 5(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i6.464>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Marzo 2026.

Agro-Divulgación, 5(6). Noviembre-Diciembre. 2025. pp: 3-6.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International

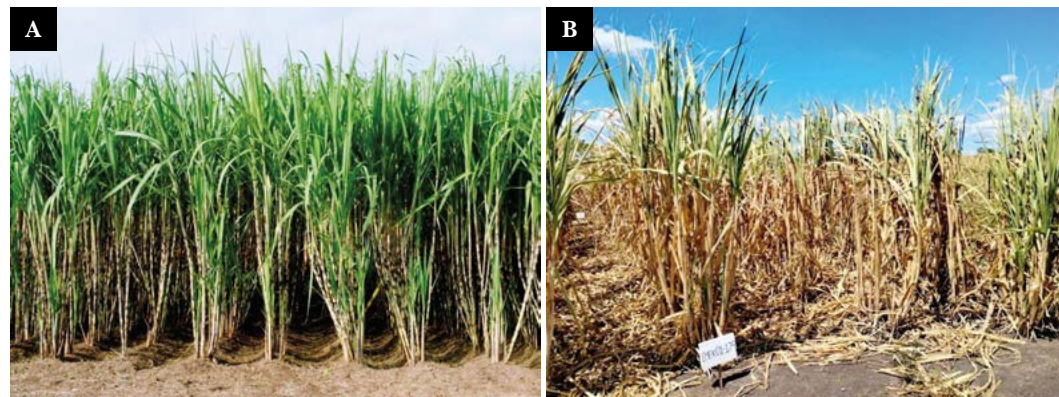


Figura 1. Cultivo de caña de azúcar. (A) Efecto del suministro de fertilizantes adecuado; (B) Efecto de la deficiencia de nutrientes y agua.

Una de las principales limitaciones en el rendimiento de la caña es el uso de suelos poco fértiles que están meteorizados y con déficit de fósforo y nitrógeno. Además, los suelos se han deteriorado por la sobreexplotación de monocultivos altamente extractivos como la caña de azúcar. Al igual que en otros cultivos, el fósforo (P) es un elemento crítico en el cultivo de caña, ya que este elemento tiene un papel esencial en el desarrollo del macollo (sistema de raíces) y la longevidad. La baja disponibilidad de P se debe al bajo contenido en el suelo, la absorción en arcilla y su precipitación/captura con óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Por otro lado, el nitrógeno es fundamental para el aumento del número de tallos, el área foliar y la formación de clorofila, favoreciendo la actividad fotosintética. La insuficiencia de este nutriente disminuye la actividad de las enzimas responsables de la fijación del CO₂, teniendo como consecuencia bajos rendimientos en biomasa y azúcares. Por esta razón, una de las estrategias para mejorar la producción de caña es el suministro constante de fertilizantes químicos. Sin embargo, estas prácticas agrícolas han generado considerables impactos económicos y ambientales.

Solución planteada

Con la visión de impulsar una agricultura sostenible en la producción de caña de azúcar en México, se propone adoptar nuevas estrategias como el uso de bioestimulantes y biofertilizantes, con el fin de aumentar los rendimientos agrícolas, recuperar la salud de los suelos y disminuir el uso de grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos. Los bioestimulantes son productos que contienen sustancias (productos metabólicos, fitohormonas, aminoácidos, ácidos húmicos, silicio y otros) y/o microorganismos, que tienen un efecto benéfico en las plantas, ya que pueden estimular los procesos naturales para mejorar la absorción de nutrientes, la biodisponibilidad de los nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo. Los biofertilizantes son productos compuestos por microorganismos benéficos (bacterias y hongos), ya sea en su forma activa (vivos) o inactiva (encapsulados), formulados con una sola cepa o en forma de consorcios microbianos, capaces de colonizar la rizosfera o los tejidos internos de las plantas. Estos microorganismos contribuyen promoviendo la disponibilidad de nutrientes (N, P y K, entre otros) del suelo, así como su absorción por parte de las plantas, resultando en una mayor salud y productividad en los cultivos.

Los microorganismos más utilizados para el diseño de biofertilizantes son los fijadores de N, los solubilizadores de K, Fe y P y las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) (Figura 2). Entre estos grupos microbianos hay especies del género *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Rhizobium*. Muchos de estos microorganismos son multifuncionales, ya que pueden contribuir en más de un mecanismo beneficioso para la planta. Actualmente, existen evidencias sólidas donde los bioestimulantes y biofertilizantes benefician a diversos cultivos de interés comercial, describiendo mecanismos de acción (Cuadro 1). Se ha informado que la aplicación de estos productos puede mejorar el rendimiento de varios cultivos en un 25% y reducir el requerimiento de nitrógeno (N) en un 50% y el requerimiento de fósforo (P) en un 25% en los sistemas agrícolas. En el cultivo de caña se ha observado que la inoculación de *B. subtilis* y *A. brasilense* aumentó el contenido de P disponible en el suelo más de cuatro veces en comparación con los tratamientos

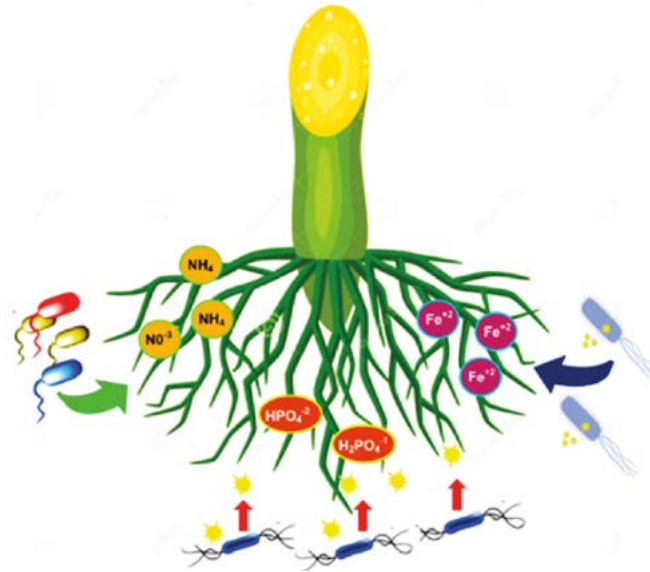


Figura 2. Estrategia de fertilización sustentable mediante el uso de PGPR.

Cuadro 1. Beneficios de la inoculación de PGPR en cultivos.

Beneficios	Inoculantes microbianos	Cultivos
Tolerancia a estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Azospirillum</i> y <i>Phyllobacterium</i>	Maíz, frijol, tomate, pimienta, trigo
Tolerancia al estrés salino	<i>Bacillus</i> , <i>Exiguobacterium</i> , <i>Azospirillum</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Dietzia</i>	Maíz, lechuga, tomate, arroz, sorgo, mijo
Mayor absorción de nutrientes	<i>Pantoea</i> sp., <i>Paenibacillus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>A. brasilense</i>	Arroz, maíz chile habanero, caña de azúcar
Mayor biomasa	<i>A. brasilense</i> , <i>Sinorhizobium meliloti</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	Alfalfa, tabaco, tomate, maíz
Bioestimulación por fitohormonas	<i>Azospirillum</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Dietzia</i>	Arroz, tomate y trigo
Biorremediación de contaminantes	<i>Ochrobactrum</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Enterobacter</i>	Arroz, maíz, maní

no inoculados, incrementando así más del 36% la masa seca del tallo y la biomasa total. Además, estos microorganismos pueden mejorar la producción de los niveles de prolina y ácido abscísico en las plantas, lo que promueve el crecimiento de raíces, la estimulación de pigmentos fotosintéticos, producción de biomasa y mejora la resistencia al estrés por sequía. Por lo tanto, estas investigaciones demuestran que los PGPR son una alternativa para impulsar en cultivo de caña de azúcar en México.

Desafíos y oportunidades

El uso de biofertilizantes/bioestimuladores es una de las herramientas agrícolas más prometedoras para mejorar el crecimiento y el rendimiento de los cultivos de caña de azúcar. Sin embargo, se requiere mayores esfuerzos en la investigación, ya que para el desarrollo de estos productos se requiere conocimientos sólidos de los microorganismos emplea-

dos, la funcionalidad específica hacia las plantas, los mecanismos de acción involucrados, aspectos de sensibilidad y bioseguridad, las dosis óptimas, las condiciones y/o sugerencias particulares para la aplicación en campo, así como la estabilidad de los productos en la vida de anaquel. Otro desafío importante es la falta de una política regulatoria en México, para la correcta venta y distribución de estos productos. Por lo tanto, el establecimiento de un marco normativo permitiría el impulso de la investigación, desarrollo y la innovación de estos bioinsumos, así como la aplicación de nuevas tecnologías en la formulación, la estandarización del etiquetado, la ampliación del mercado y su fácil comercialización.

Innovaciones, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Asociaciones de Productores Gobierno de los Estados	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social Económico Ambiental Conocimiento	Ciencia y Tecnología Económico Responsabilidad Ambiental	Competitividad Comercio Capacitación	Número de tesis Número de egresados (Lic. M.C., D.C.) Número de publicaciones Transferencias tecnológicas Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico
Procesos	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro.	Productores independientes Comunidades Agrarias	Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)				
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible						
Innovación frugal	Hacer más con menos. Idear estrategias de bajo costo para sortear las complejidades institucionales o limitaciones de recursos, conseguir innovar, desarrollar y entregar productos y servicios a los usuarios de bajos ingresos con poco poder adquisitivo						