

LOS

Biofertilizantes

Y LA PRODUCCIÓN DE

Caña de azúcar

(*Saccharum* spp.)

Velasco-Velasco, J.

Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados, km 348 Carretera federal Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C.P. 94946.

Autor responsable: joel42ts@colpos.mx

RESUMEN

En la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), es importante diseñar políticas públicas del sistema producto que involucre implementar manejo alternativo de la fertilidad del suelo a través del uso de biofertilizantes, enmiendas orgánicas, fertilizantes químicos y buenas prácticas agrícolas. La quema y requema de los residuos de la cosecha es una práctica que afecta considerablemente la dinámica de la materia orgánica. El uso de biofertilizantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, promotoras de crecimiento y abonos orgánicos, son alternativas cuyos resultados en investigación han evidenciado efectos favorables para el rendimiento de caña y la conservación del suelo y ambiente.

Palabras clave: Bacterias promotoras de crecimiento, abonos orgánicos

INTRODUCCIÓN

La producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es de gran importancia en el mundo y se cultiva en más de 130 países en una superficie de 25.4 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 80 t ha^{-1} (FAOSTAT, 2013). A nivel internacional, ocupa el noveno lugar en importancia respecto al valor de la producción (56 mil millones de dólares), pero es el primer cultivo por cantidad de materia prima producida (1,800 millones de toneladas al año) (FAOSTAT, 2013). Su producción retoma importancia en el mundo por su contribución al desarrollo agrícola e industrial,

captación de divisas, como suplemento calórico, producción de alcohol y etanol, y como componente alimenticio en la dieta para animales, entre otros usos.

En México la industria azucarera es una de las más importantes, debido a su relevancia económica y social; genera más de dos millones de empleos y se desarrolla en 15 entidades federativas y 227 municipios, generando un valor de producción primaria de alrededor de 30 mil millones de pesos (SAGARPA, 2011) (Cuadro 1).

El cultivo de la caña de azúcar se ha visto afectado tanto a nivel productivo como económico, debido a factores de políticas públicas, bajo nivel de eficiencia en la implementación de tecnologías en toda la cadena productiva y, últimamente, por efecto del cambio climático. El uso de biofertilizantes es una alternativa amigable con el medio y puede contribuir desde el punto de vista de producción sostenida del cultivo. **Los biofertilizantes son productos a base de uno o más microorganismos no patógenos que, al ser inoculados a plantas, pueden vivir asociados o en simbiosis, incrementando el suministro, la disponibilidad y el acceso físico de nutrientes que favorecen mayor crecimiento** (Barea *et al.*, 2002). También se definen como fertilizantes orgánicos naturales que promueven la disponibilidad de nutrientes y contribuyen a proporcionárselos a las plantas y a mejorar la calidad del suelo, creando un entorno microbiológico natural (FAO, 2009). De manera similar se menciona también que son una base de microorganismos que se desarrollan naturalmente en el suelo, se aíslan de él y, al inocularlos nuevamente en la rizosfera de la planta, incrementan sus poblaciones; asimismo, mediante su actividad biológica ponen a disposición de las plantas importantes nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo, así como sustancias promotoras de crecimiento, y contribuyen a la mineralización de la materia orgánica del suelo. Con base en lo anterior, se describen evidencias del uso actual y potencial de los biofertilizantes en la producción de caña de azúcar para reducir el uso de fertilizantes de origen químico y contribuir a su producción sostenible.

Nutrición de la caña de azúcar

La caña de azúcar es un cultivo altamente extractor de nutrientes del suelo y requiere considerables dosis de fertilización de macro y micronutrientes para suplir sus necesidades. Lo anterior se debe a su elevada capacidad de producción de biomasa (tallos molederos, follaje, cepa y raíces), que significa entre 20 y 35 t ha⁻¹ de materia seca; en peso fresco alcanzan un valor cercano o su-

perior a 100 t ha⁻¹, lo cual asociado a la prolongada duración de su ciclo, implica una extracción de nutrientes del suelo de entre 800 a 1500 kg ha⁻¹ por año, sobresaliendo el potasio y silicio, seguidos de nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos (Cuadro 2).

La fertilización nitrogenada es muy importante para el cultivo; además, algunos suelos pueden requerir aportes de fósforo y, en casos especiales, de potasio. Por esta razón resulta fundamental que el productor realice con frecuencia análisis de suelo para que, junto a los registros de la producción de caña y azúcar de años anteriores, pueda optimizar la elección de nutrientes y dosis a agregar en cada lote de cultivo. Diversos autores mencionan dosis de fertilizantes integradas de 130 unidades de nitrógeno (N), 39 de fósforo P₂O₅ (P), 280 de potasio KO₂ (K), 47 de calcio (Ca), 47 de magnesio (Mg) y 60 de azufre (S) (Hernández *et al.*, 2008). Otros recomiendan una dosis de 160_N-80_P-80_K y FIRA (2007) aconseja aplicar 500 kg de 16_N-16_P-16_K en planta. Actualmente existe preocupación por el intenso uso de insumos químicos en la producción de caña de azúcar, ya que ello encarece los costos de producción, contamina el ambiente y los mantos acuíferos. Por lo que la biotecnología a base de biofertilizantes podría fortalecer el desarrollo sostenible del este cultivo.

Biofertilizantes microbianos

Se han realizado ensayos para el uso de biofertilizantes a base de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPB, por sus siglas en inglés). El Cuadro 3 muestra las principales PGPB y sus efectos benéficos estudiados en caña de azúcar, realizados en Cuba (Torriente, 2010).

Estudios en Brasil demuestran que con la fertilización con bajos niveles

Cuadro 1. Principales estados productores de caña de azúcar en México en millones de toneladas por año.

ESTADOS	2008	2009	2010	2011	2012
Veracruz	18.2	16.1	18.7	17.4	18.1
Jalisco	5.9	5.7	6.2	5.5	6.3
Oaxaca	3.5	3.7	3.6	3.6	3.6
San Luis Potosí	3.8	3.8	3.0	3.5	2.5
Tamaulipas	3.2	3.8	2.7	3.5	3.5
TOTAL	51.1				

Fuente: Escenario Base 2009-2018 www.siacon.sagarpa.gob.mx

Cuadro 2. Extracción de nutrientes del suelo por el cultivo de caña de azúcar

Nutrientes	Cantidad extraída (kg ha ⁻¹ por año)
Potasio	300 – 350
Silicio	200 – 300
Nitrógeno	130 – 200
Fósforo	80 – 100
Calcio	55 – 60
Magnesio	35 – 45
Azufre	20 – 30

de nitrógeno (menos de 50 kg ha⁻¹) se obtienen rendimientos semejantes a los de países donde los cultivos se fertilizan con altas dosis de este mismo elemento (120-300 kg ha⁻¹), como es el caso de Estados Unidos (Hawái), Cuba, Venezuela y México (Caballero-Mellado *et al.*, 1995). Se han reportado ganancias económicas por sustitución de los fertilizantes químicos en rangos de 25 a 32% en más de 76% de las experiencias evaluadas en campo, mostrando respuesta positiva e incrementos de entre 25% y 35% en el rendimiento (Ortega *et al.*, 2009). Experimentos realizados en plantas inoculadas con *Gluconacetobacter diazotrophicus* en el estado de Morelos (México) (Caballe-

ro-Mellado *et al.*, 1995) indicaron que aun con bajas dosis de nitrógeno (50 kg ha⁻¹) los rendimientos fueron muy similares a los observados con elevadas dosis de fertilización mineral (300 kg ha⁻¹), lo cual fue atribuido a que las PGPB favorecieron a las plantas a través de diferentes mecanismos listados en el Cuadro 4; por ejemplo, la bacteria *Azospirillum brasilense* ha incrementado los rendimientos agrícolas en diferentes cultivos de interés económico, gracias al aporte de las fitohormonas del crecimiento vegetal y como fijadora de nitrógeno.

Se le ha dado especial interés a bacterias con capacidad de solubilizar fosfatos inorgánicos en forma de compuestos de aluminio (Al), hierro (Fe) y calcio (Ca), cuya composición química limita la disponibilidad y absorción de fósforo (P) por las plantas. La actividad de las bacterias solubilizadoras de fosfatos interviene directamente en el incremento de la capacidad de crecimiento de las especies vegetales que son inoculadas, y dentro de éstas se encuentran especies tales como *Enterobacter agglomerans*, *Basillus megaterium*, *Bacillus sp.*, y *Acidithiobacillus spp.*, entre otras, con capacidad de solubilizar fosfatos a partir de fuentes inorgánicas insolubles y fitato (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). De manera similar, las bacterias que participan en la fijación

Cuadro 3. Principales bacterias promotoras de crecimiento vegetal utilizadas en el cultivo de la caña de azúcar.

Especies de bacterias aisladas en caña de azúcar	Efectos beneficiosos principales en la planta	Principales estudios realizados
<i>Azospirillum brasilense</i>	Fijación de nitrógeno Producción de fitohormonas de crecimiento vegetal	Aislamientos, identificación y validación en campo Medios de cultivo
<i>Azotobacter sp.</i>	Fijación de nitrógeno Producción de fitohormonas de crecimiento vegetal	Aislamiento, identificación y caracterización, validación en campo
<i>Acetobacter diazotrophicus</i> (<i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i>)	Fijación de nitrógeno Producción de fitohormona vegetal Estimulador del crecimiento	Aislamientos, identificación y caracterización, validación en campo
<i>Burkholdenia cepacia</i> (<i>Pseudomonas</i>)	Efectos antagónicos ante los hongos patógenos	Mecanismos de acción de la bacteria
<i>Pantoea sp.</i>	Mecanismo de acción como bacteria endófito	Aislamientos

Fuente: Torriente (2010).

Cuadro 4. Mecanismos benéficos de las especies promotoras de crecimiento vegetal.

Mecanismo de acción en la planta con diversas especies de PGPB
Fijación de nitrógeno
Síntesis de fitohormonas
Promoción del crecimiento de la raíz y proliferación de pelos radicales
Mejoramiento de la absorción de agua y nutrientes
Solubilización de los fosfatos di, tricálcicos y otros minerales
Inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos
Producción de sideróforos, que son los iniciadores de la resistencia sistémica inducida (ISR)

Fuente: Torriente (2010)

biológica del nitrógeno y la solubilización del fósforo inorgánico tienen capacidad de inducir cambios fisiológicos en la planta, los cuales estimulan la tasa de crecimiento. Los mecanismos de la planta son activados por estas bacterias que están relacionadas con la síntesis de reguladores del crecimiento (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). En el Cuadro 5 se enlistan biofertilizantes usados en diferentes cultivos, así como sus beneficios en la planta inoculada (Figura 1).

Uso de enmiendas orgánicas en caña

Los abonos o enmiendas en suelos representan otro biofertilizante importante en la producción de cultivos y, por lo tanto, tienen impacto en la producción de caña de azúcar; dentro de los principales se menciona la utilización de cachaza, compost de cachaza, vinaza, estiércol y compost de estiércol. Lozano (2001) empleó 75 t ha⁻¹ de cachaza fresca y 75 t ha⁻¹ de compost de cachaza como abono en el cultivo de caña de azúcar y con ello demostró que de ambas formas puede incorporarse al suelo (no existió diferencia significativa en la producción del cultivo), por lo que la cachaza es una alternativa de fertilización orgánica para la producción de caña, contribuyendo al mejoramiento del suelo y del ambiente. Otras investi-

gaciones usando materiales orgánicos estabilizados, como los citados por Hernández *et al.* (2006), no observaron diferencia estadística significativa en rendimiento (t ha⁻¹) en un estudio de fertilización en caña de azúcar con dos dosis de vinaza (150 y 250 m³ ha⁻¹), fertilización química (160N-80P-80K), composta de cachaza (15 t ha⁻¹) y un testigo sin fertilizar. Sin embargo, la fertilización química y la composta superaron al testigo y a los tratamientos de vinaza, con 33 y 11 t ha⁻¹, respectivamente. En cuanto a contenido de macronutrientes N y P en tejido vegetal, se reportó una diferencia significativa entre el testigo y la dosis alta de vinaza. En cambio, en porcentaje de K, el testigo registró valores similares al tratamiento fertilizado con composta, los cuales fueron significativamente menores a la fertilización química y a las dosis de vinaza. En cuanto a los elementos Ca, Mg, Cu (cobre), Fe, Zn (zinc) y B (boro), fueron estadísticamente iguales en todos los tratamientos. De igual forma, no observaron diferencia significativa en grados Brix, sacarosa, azúcares reductores, fibra y humedad, por lo que la calidad de los jugos de la caña de azúcar fue estadísticamente igual a la obtenida con fertilización química. Arreola-Enríquez *et al.* (2004) evaluaron los efectos de

tres dosis de cachaza 5, 10 y 15 t ha⁻¹ (enriquecida con N (0.6%) y K (0.2%)), con respecto a la fertilización química con fórmula 12N-60P-60K y un testigo sin fertilización, registrando diferencias significativas y una relación directa entre el método, la dosis de fertilización y el aporte de materia orgánica, resultando mayor en la de 15 t ha⁻¹, excepto en la mineral y sin fertilizar (2.57%). En las dosis 10 y 15 t ha⁻¹ de abono órgano-mineral de cachaza, el contenido (mg kg⁻¹) de NO₃⁻ y NH₄⁺ respondieron de mejor forma que el resto de los tratamientos. Encontraron también una diferencia significativa en la dosis de 10 t ha⁻¹ (84.6 t ha⁻¹ de tallos moladeros), en cambio, el testigo y la fertilización química sólo obtuvieron 35 t ha⁻¹ y 52 t ha⁻¹, respectivamente. No encontraron efecto en la calidad del jugo (determinada por grados Brix, sacarosa, pureza y fibra). La calidad de los jugos no presentaron diferencia significativa, como también lo observó Heinrichs *et al.* (2010). Gómez y Rodríguez (2000) estudiaron los efectos de la fertilización a base de vinaza combinada con la fertilización mineral sobre la productividad del cultivo en primera y segunda soca de caña de azúcar. Los tratamientos fueron tres niveles de fertilización mineral (0 kg ha⁻¹, 180 kg ha⁻¹ N+160 kg ha⁻¹ P₂O₅+220 kg ha⁻¹ K₂O y 80 kg ha⁻¹ N+45 kg ha⁻¹ P₂O₅), combinados con cinco niveles de vinaza (0 m³ ha⁻¹, 25 m³ ha⁻¹, 50 m³ ha⁻¹, 75 m³ ha⁻¹ y 100 m³ ha⁻¹, obteniendo valores en rendimiento en azúcar y en caña superiores con la aplicación de la vinaza. Se observaron también mejores resultados con los niveles de 50 m³ ha⁻¹ en plantilla y de 100 m³ ha⁻¹ en primera y segunda soca, mostrando una eficiencia significativa, como material fertilizante y una reducción del efecto contaminante en los acuíferos del subsuelo.

Cuadro 5. Biofertilizantes a base de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biocontroladores de patógenos y uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) empleados en diferentes cultivos.

Especies biofertilizantes	Efectos beneficios para la planta
Pseudomonas	Bacteria promotora del crecimiento, Control biológico
Hongos micorrízicos arbusculares	Facilitan la asimilación de nutrimentos Ayudan a la funcionalidad fisiológica de la planta para su crecimiento; permiten la disponibilidad y aprovechamiento de nutrimentos
Microorganismos de la rizosfera	Absorción de nutrimentos minerales y agua
Cyanobacteria <i>Anabaena</i> <i>Nostoc</i> spp. <i>Cylindrospermum</i> spp. <i>Aulosira</i> spp. <i>Tolypothrix</i> spp.	Son excelentes fijadores de nitrógeno

Fuente: Alarcón *et al.* (1998).

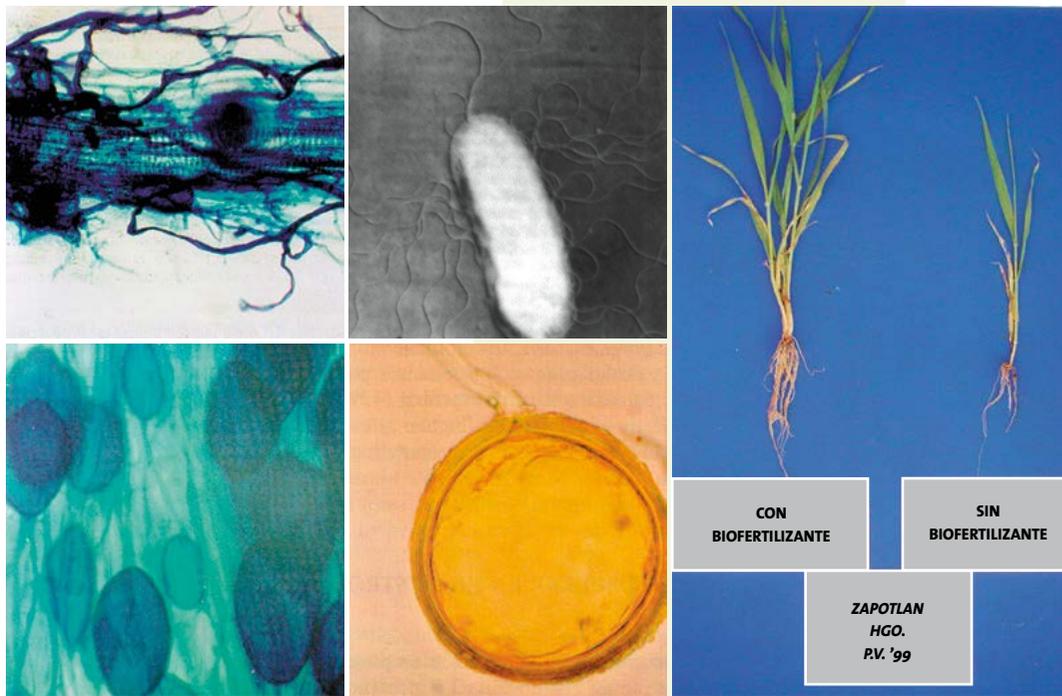


Figura 1. A: Hongos micorrízicos del género *Glomus* spp. B: *Azospirillum brasilense*. C: Efecto de la biofertilización microbiana en plantas. (Adaptado de Aguirre-Medina, 2012).

CONCLUSIONES

Es recomendable incorporar en los paquetes tecnológicos del cultivo de caña de azúcar, fuentes orgánicas para la nutrición, tales como biofertilizantes microbianos y enmiendas orgánicas, además de incluir buenas prácticas agrícolas y aplicar el manejo integrado de la fertilidad del suelo, con el fin de mejorar la producción y la productividad. Promover acciones como la cosecha en verde, evitar la quema de la materia orgánica e impulsar la capacitación a las organizaciones de cañeros, son acciones que rendirán frutos a mediano y largo plazos en la productividad y sostenibilidad del cultivo.

LITERATURA CITADA

Aguirre-Medina, J.F., Aguirre C. J.F., Cadena-Iñiguez J., Avendaño-Arrazate C.H. 2013. Biofertilización en plantas de la selva húmeda tropical. Editorial Colegio de Postgraduados. Primera edición. 104 p.

Arreola-Enríquez J., Palma-López D.J., Salgado-García S., Camacho-Chiu W., Obrador-Olán J.J., Juárez-López J.F., Pastrana-Aponte L. 2003. Evaluación de abono orgánico-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 22: 351-357.

Alarcón A., Ferrera-Cerrato R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México* 26: 191-203.

Alarcón A., Ferrera-Cerrato R., Villegas-Monter A., Almaraz S.J.J. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq. *In*. Zulueta R., Escalona A., M. Y Trejo A., D. (eds.). *Avances de la Investigación Micorrízica en México*. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. p. 119-126.

Barea J.M., Azcón R., Azcón-Aguilar C. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology*, 81(1-4): 343-351.

Caballero-Mellado J., Fuentes-Ramírez L.E., Reis V.M., Martínez-Romero E. 1995. Genetic Structure of *Acetobacter diazotrophicus* populations and identification of a new genetically distant group. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 3008-3013.

FIRA. 2007. Caña de azúcar. Análisis de costos cosecha sin quema. http://www.fira.gob.mx/Nd/CANA_DE_AZUCAR-Analisis_de_Costos_cosecha_sin_quema.pdf.

FAO. 2009. Glosario de biotecnología para la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/docrep/004/y2775s/y277500.htm>

FAOSTAT. 2011. Estadísticas de producción de alimentos. Caña de azúcar. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

FAOSTAT. 2013. Estadísticas de producción de alimentos. Caña de azúcar. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

Gómez J. Rodríguez O. 2000. Efecto de la vinaza en la productividad de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 17: 318-326.

Heinrichs R.A., Santos E.T.B., Monteiro de Figueiredo A., Musac S., Paschoaloto J.R.D., Filhøe C.V. 2010. Soil chemical attributes, technological quality and yields of sugar cane. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.

Hernández M.G.I., Salgado G.S., Palma L.D.J., Lagunes E.L.C., Castelán E.M., Ruíz R.O. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas. *INTERCIENCIA* 33: 855-860.

Ortega E., Fernández L.; Ortega-Rodés P., Rodés R. 2009 La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar. [En línea] La Habana: Laboratorio de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de la Habana [Consultado: 12/2/2009 Disponible en: <<http://www.uh.cu/...Ortega/>].

SAGARPA. 2011. Estudio de gran visión para la identificación de necesidades de riego y drenaje en las zonas de abasto cañeras y propuestas de tecnificación en zonas potenciales como base para el desarrollo de proyectos de inversión. Etapa I. Escenario Base 2009-2018. Proyecciones para el Sector Agropecuario de M - www.siacon.sagarpa.gob.mx.

SIAP. 2009. Sistemas Producto Agrícolas. Caña de azúcar. siap.gob.mx/sipro/portales/agricolas/cania/descripcion.pdf

Torriente D. 2010. Aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de la caña de azúcar. *Perspectivas de su uso en Cuba. Cultivos Tropicales* 31: 19-26.