

Revisión bibliográfica

APLICACIÓN DE BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR. PERSPECTIVAS DE SU USO EN CUBA

Doris Torriente✉

ABSTRACT. Sugarcane production in Cuba has undergone considerable damages from the financial and climatologic point of view; thus, it is necessary to establish sustainable production systems promoting to increase agricultural yields and protect the environment. Among these practices, the use of biofertilizers constitutes an alternative to improve current productions with the lowest environmental damage. In our country, the application of plant growth promoting bacteria (PGPB) to sugarcane has been studied since 1990's; however, it has not been potentially used as a nutritional alternative of crop culture. This work was aimed to emphasize the significance of including PGPB as a biofertilizer to a sustainable sugarcane production, besides showing the most significant results and performing a prospect analysis of its use in sugarcane production.

Key words: biofertilizers, plant growth substances, sugarcane, production, sustainability

RESUMEN. La producción de caña de azúcar en Cuba ha sufrido considerables afectaciones desde el punto de vista financiero y climatológico, por lo que se hace necesario establecer sistemas de producción sostenibles que promuevan la elevación de los rendimientos agrícolas y protejan al medio ambiente. Dentro de estas prácticas, la utilización de biofertilizantes constituye una alternativa para elevar las producciones actuales, con el menor daño al ambiente. La aplicación de PGPB en el cultivo de la caña de azúcar en Cuba ha sido estudiada desde la década de los 90; no obstante, no se utiliza en todo su potencial como alternativa de nutrición dentro de la fitotecnia del cultivo. Este trabajo tiene como objetivo destacar la importancia de incluir PGPB como biofertilizante en la producción sostenible de caña de azúcar, mostrar los resultados más significativos y hacer un análisis de las perspectivas de su empleo en la producción cañera.

Palabras clave: biofertilizantes, sustancias de crecimiento vegetal, caña de azúcar, producción, sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

La producción azucarera es de gran importancia en el mundo y la caña de azúcar se cultiva en 106 países en una superficie de 22 millones de hectáreas, con un promedio en los rendimientos de 66 t.ha⁻¹ (1).

En Cuba, este cultivo ocupó por mucho tiempo los primeros lugares dentro de la agricultura, pero con la pérdida de los mercados preferenciales y la caída de los rendimientos agrícolas la producción de caña decreció y no satisface los planes nacionales ni internacionales. Actualmente, las producciones de caña en nuestro país no superan las 40 t.ha⁻¹; de ahí la necesidad de incrementar los rendimientos agrícolas, con el objetivo

de contribuir a la producción de alimentos y garantizar ingresos en divisas (1).

El Ministerio del Azúcar se encuentra inmerso en un proceso de reordenamiento (2), redimensionamiento y reorganización, que impone una nueva visión de la producción de caña. Se busca sostenibilidad, diversificación y reducción de los costos con el incremento de la productividad. Se proyecta un aumento en los rendimientos agrícolas hasta un promedio de 50 t de caña.ha⁻¹.

La agricultura cañera no solo está afectada desde el punto de vista productivo y económico, sino que posee un sistema de producción debilitado por los cambios climáticos, la mala utilización de tecnologías agrícolas y los altos consumos de productos químicos. Las áreas cañeras se sembraron por mucho tiempo sin un sistema adecuado de rotación de cultivos, lo cual provocó la

compactación y pérdida de nutrientes en los suelos (3).

Para fomentar la sostenibilidad de la producción cañera, es necesario buscar las experiencias científicas acumuladas por los investigadores sobre tecnologías sanas y adaptarlas a las nuevas condiciones que presentan los campos cañeros. Se sugiere que, con vistas a mejorar y recuperar las propiedades de los suelos cañeros sometidos al monocultivo por mucho tiempo, se debe materializar el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes, con el fin de aumentar los rendimientos agrícolas y disminuir la utilización de grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos (3).

En Cuba y en todo el mundo, se han llevado a cabo investigaciones sobre la obtención de productos biológicos de fácil manejo. Estas producciones se consideran insumos biológicos de enorme potencial para

Ms.C. Doris Torriente, profesora de la facultad de Agronomía, departamento de Agricultura, Universidad "Camilo Cienfuegos", autopista Varadero km 3-1/2, Matanzas, Cuba

✉ doris.torriente@indio.atenas.inf.cu

la agricultura. Se sugieren investigaciones que demuestren el efecto positivo del uso de microorganismos, como estimuladores del crecimiento vegetal y mejoradores de las propiedades de los suelos (3, 4, 5, 6).

Particularmente en Cuba, se han realizado un grupo de ensayos para el uso de biofertilizantes a base de bacterias promotoras de crecimiento vegetal –PGPB– (3, 6), con resultados importantes* en especies como *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter* (*Gluconobacter diazotrophicus*), *Burkholderia cepacia*, (*Pseudomona aeruginosa*) y *Pantoea* sp, los cuales marcan líneas de investigaciones futuras para el cultivo.

Las autoridades responsables de la agricultura cañera en el país planifican un grupo de recursos para la introducción de alternativas nutricionales sanas, con el objetivo de incrementar los rendimientos agrícolas, disminuyendo considerablemente las cantidades de fertilizantes químicos a emplear y los riesgos de contaminación que estos provocan.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, este trabajo tiene como objetivos:

- ✱ Destacar la importancia de los efectos beneficiosos de PGPB para las condiciones actuales de la producción cañera.
- ✱ Mostrar los resultados más significativos alcanzados con la aplicación de PGPB en el cultivo y las perspectivas de su empleo en la producción de caña de azúcar.

EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU IMPORTANCIA ECONÓMICA EN CUBA

La caña de azúcar se introdujo en Cuba poco tiempo después del descubrimiento de América (7). La clasificación taxonómica más aceptada en el mundo la ubica en el orden *Poales*, de la familia *Poaceae*, género *Saccharum* y cinco especies: *Officinarum*, *Robustum*, *Spontaneum*, *Barberi* y *Sinensis**.

Con la caída del campo socialista y la pérdida de mercado, hay daños significativos para la industria azucarera, se descapitaliza la producción con una disminución sustancial de las capacidades productivas y los precios se reducen por debajo de los costos de producción (3). Se vislumbra para los productores de caña dos únicas soluciones: producir con menores insumos y diversificar sus fuentes de ingresos (8).

El cultivo de la caña de azúcar posee características fisiológicas beneficiosas para ser manejado sobre una base de desarrollo económicamente viable, auto energético y ecológicamente sustentable. Es posible desarrollar una agricultura cañera con técnicas orgánicas de mínimos insumos químicos, disminuyendo los contaminantes del medio ambiente con menores costos.

En Cuba, existen suficientes experiencias prácticas para encaminar la agricultura cañera hacia la sostenibilidad. Para lograr esta aspiración, resultan factores vitales la aplicación de los adelantos científico-técnicos (2) y la introducción de los resultados de las décadas pasadas.

La producción de caña de azúcar es el punto débil de la agroindustria azucarera (2), por lo que se impone la necesidad de incrementar sus rendimientos con el menor costo económico y ambiental; las soluciones de cómo lograrlo se conocen por parte de los especialistas, técnicos y productores, lo que queda es intentarlo.

PRINCIPALES FORMAS DE ESTUDIO DE LAS BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL (PGPB)

Las PGPB favorecen a las plantas a través de diferentes mecanismos que se pueden resumir en: la fijación biológica del nitrógeno (9, 10), síntesis de fitohormonas como las auxinas fundamentalmente el ácido indolacético AIA- (11, 12), promoción del crecimiento de la raíz y proliferación de pelos radicales, mejora de la absorción de agua y nutrientes, solubilizan los

fosfatos di y tricálcicos y otros minerales, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y producen sideróforos, que son los iniciadores de la resistencia sistémica inducida (ISR) (3).

Los mecanismos por los que las PGPB controlan los microorganismos patógenos son: la competencia por el nicho ecológico o sustrato (3), síntesis de compuestos químicos inhibitorios como los sideróforos, los antibióticos y las enzimas líticas destoxificadoras e inducción de resistencia en la planta.

Los estudios de las PGPB se han sistematizado y profundizado en el tiempo, y se han llegado a elaborar metodologías para su aplicación, que incluyen la caracterización rizosférica y endófitas, el aislamiento de bacterias, la clasificación de cepas, los estudios de interacción de microorganismos con la planta, la selección de cepas promisorias, preparación de inoculantes microbianos y, por último, determinación de la calidad y factibilidad económica en campo (13).

Los principales métodos utilizados para el estudio de las PGPB responden a la combinación de métodos tradicionales y moleculares (14).

En el cultivo de la caña de azúcar, las formas de estudiar las PGPB siguen de manera general las líneas clásicas utilizadas en los restantes cultivos. Se recomiendan estudios de aislamientos, la identificación de cepas, evaluación y selección, los estudios de conservación, fermentación, evaluación en campo y factibilidad económica (3). Se plantean especificidades para el manejo agronómico de biofertilizantes, que dependen fundamentalmente de las características del cultivo, el microorganismo y la formulación del producto. Se recomienda el siguiente esquema de trabajo (Figura 1).

PRINCIPALES PGPB EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Las principales PGPB y los efectos beneficiosos que se han estudiado en caña de azúcar se resumen en la Tabla I.

*Roldós, 1995, Comunicación personal

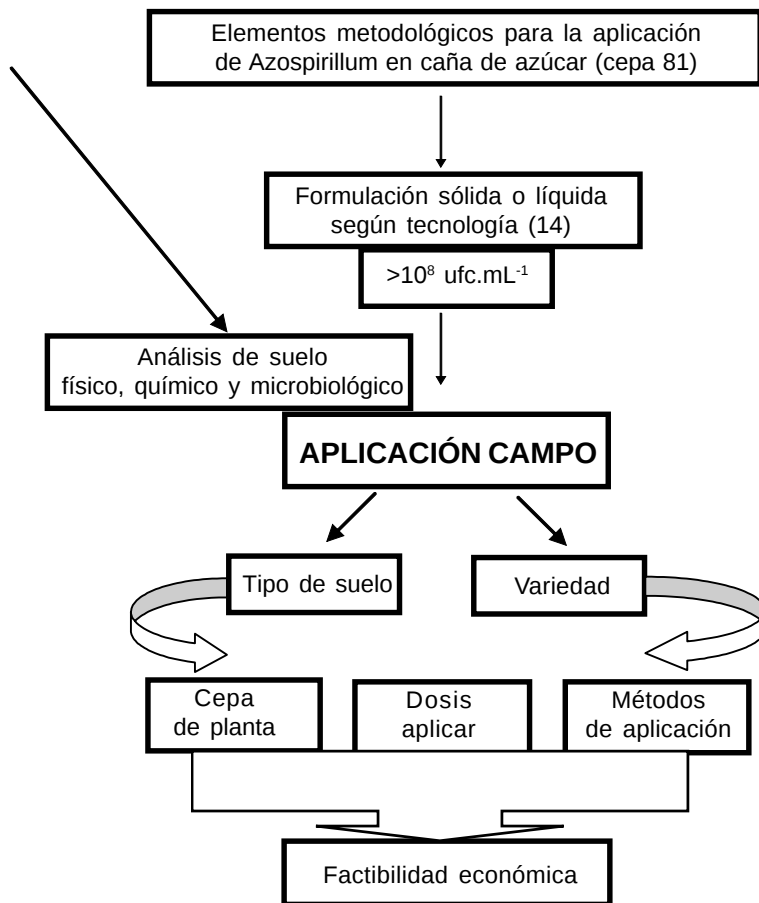


Figura 1. Esquema para el estudio metodológico de la aplicación de *Azospirillum* en caña de azúcar

Tabla I. Principales *PGPB* utilizadas en el cultivo de la caña de azúcar

Especies de bacterias aislados 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 (3, 6, 15, 16), medios de cultivo
<i>Azotobacter</i> sp	Fijación de nitrógeno, producción de fitohormonas de crecimiento vegetal	Aislamiento, identificación y caracterización, validación en campo (3)
<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 (3)
<i>Burkholderia cepacia</i> (<i>Pseudomonas</i>)	Efectos antagónicos ante los hongos patógenos	Mecanismos de acción de la bacteria (3, 17)
<i>Pantoea</i> sp	Mecanismo de acción como bacteria endófito	Aislamientos (3)

En esta tabla se resumen los principales mecanismos de acción de las *PGPB* que se han estudiado en la caña de azúcar: fijación de nitrógeno, producción de fitohormonas de

crecimiento vegetal y efectos antagónicos ante hongos y bacterias. Aún queda mucho por investigar, a pesar de que se han reportado logros en este sentido.

PRINCIPALES RESULTADOS EN *Azospirillum brasilense*

Son varios los estudios que muestran los efectos beneficiosos del *Azospirillum brasilense* en diferentes cultivos (3, 18, 19, 20) y se presenta como fijadora de nitrógeno, pero ha incrementado los rendimientos agrícolas en diferentes cultivos de interés económico gracias al aporte de las fitohormonas del crecimiento vegetal (21, 22).

En el período 1988-1995, en el cultivo de la caña de azúcar, en el INICA se estudiaron las poblaciones de *Azospirillum brasilense* en suelos Ferralíticos amarillos, Ferralíticos rojos y Pardos con carbonatos, y se encontraron las mayores concentraciones de biomasa en los suelos de naturaleza Sialítica (23).

La selección por la actividad de reducción del acetileno (ARA) en las cepas de este género muestra niveles aceptables, al compararse con los valores de la cepa patrón escogida. Esto nos indica que la bacteria puede fijar nitrógeno, aunque este no sea el efecto fundamental que se le atribuya al microorganismo. Se obtuvo una cepa 8I (INICA), que fue marcada y tratada con antibióticos para inducir la expresión de algún mutante espontáneo, con un grado determinado de concentración de estreptomina y espectinomicina, y los niveles de ARA obtenidos fueron mayores que en las diferentes cepas estudiadas (3).

La descripción de la cepa 8I de *Azospirillum* sp. coincide con la descrita por el Manual de Clasificación de Bacterias: son colonias pequeñas en medio BMS, blancas y se tornan rosadas en la medida que el cultivo envejece; es seca, opaca y ornamentada. En el medio Nfb semisólido con ácido málico, se observa una película de crecimiento blanquecino por debajo de la superficie del medio. En el medio Rojo Congo, se observan colonias pequeñas rojas secas. Las células en contraste de fase son en forma de bacilos medianos, gruesos, móviles, simples o dobles, con gránulos internos de poli β hidroxibutirato (24).

De todo el estudio de caracterización de la cepa 81, se plantea que por su comportamiento morfológico y serológico, coincide con la especie *Azospirillum brasilense*; no obstante, algunas características fisiológicas determinantes como la utilización de biotina y glucosa como fuente de carbono, las hace que se asemejen más al género (3).

Se realizan estudios de conservación de cepas de *Azospirillum* en diferentes sustratos, como la cachaza (25) y el bagacillo (3), la turba, (23, 26, 27), que muestran resultados positivos y obtienen mayores incrementos productivos cuando la bacteria es soportada en cachaza (28, 29). Se han obtenido otras cepas como la número 24 en la raíz de la variedad de caña C 27-81.

VALIDACIÓN EN CAMPO

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) montó en campo un total de 48 experimentos y dos extensiones en diferentes condiciones edafoclimáticas, que mostraron la validez de las aplicaciones del *Azospirillum*, como una alternativa para la nutrición de la caña de azúcar. Los elementos agronómicos fundamentales que se manejan en su aplicación en campo son los soportes donde se inocula la bacteria, las dosis a emplear, el momento y los métodos de aplicación, teniendo en cuenta la cepa de planta que se trate. Se recomiendan la aplicación de dosis de 50-100 kg.ha⁻¹ de forma enterrada, inmediatamente después del corte y, sobre todo, en cepas de retoños (30).

Se ha obtenido respuesta de todas las cepas donde la inoculación se ha soportado en cachaza, con incrementos en rendimiento en relación con el testigo en un rango de 16,02-25,48 t de caña.ha⁻¹ y con respecto a los fertilizantes químicos 4,94-13,62 t de caña.ha⁻¹. La variante sólida ha mostrado mayores rendimientos agrícolas que los líquidos, en dependencia de la cepa que se analiza. Más del 76 % de las experiencias evaluadas en campo han mostrado respuesta positiva e incrementos en el rendimiento de un 25 a

35 % (24); se reportaron ganancias económicas por sustitución de los fertilizantes químicos en rangos de 25 a 32 % (30).

LIMITACIONES PARA SU USO EN LA AGROTECNIA DEL CULTIVO

Los estudios realizados hasta el momento demuestran que aún queda mucho por investigar sobre las PGPB en el cultivo de la caña de azúcar. Se sugiere que el nivel de conocimiento sobre las poblaciones microbianas asociadas a los cultivos y los factores que inciden en su interacción planta-bacteria es escaso e incompleto, aspecto que se refleja en los resultados contradictorios y variables que se han obtenido con la aplicación de bioproductos.

Aún se estudian las respuestas de la planta en condiciones de campo ante la bacteria soportada en sustratos sólidos como la turba y cachaza, con el objetivo de definir los manejos agronómicos para el cultivo.

Las principales limitaciones resumidas son:

- ➔ No existe una explicación clara y precisa de los mecanismos de acción de la bacteria y su interacción con el cultivo de la caña de azúcar.
- ➔ Las actuales condiciones de los suelos cañeros (afectados por el manejo de factores antropológicos) dedicados al cultivo no garantizan totalmente una respuesta estable en todas las variantes agronómicas.
- ➔ Las recomendaciones y los estudios realizados responden a las metodologías aplicadas al uso de los fertilizantes químicos y no a las tecnologías con microorganismos vivos, los cuales poseen características muy diferentes a las que demandan los productos inorgánicos.
- ➔ Las formulaciones líquidas dificultan la aplicación en campo de grandes volúmenes de productos.
- ➔ Los estudios de formulación del producto no satisfacen las exigencias del manejo agronómico de la caña de azúcar en campo, es decir, a los métodos, momentos y formas de aplicación que demanda el cultivo.

AVANCES Y PERSPECTIVAS DEL USO DE *Azospirillum* EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Actualmente, se estudian las formas y los métodos de manejo de PBPG (*Azospirillum*) en el cultivo, haciendo énfasis en las nuevas tecnologías de elaboración de biopreparados y biofertilizantes. Se investiga la respuesta de la planta utilizando la bacteria en sustratos sólidos: cachaza, turba y zeolita (29).

Se deben priorizar los estudios en aquellas condiciones edafoclimáticas donde se obtienen las mejores respuestas productivas, debido a que la aplicación de esta bacteria está fuertemente afectada por las condiciones del medio edáfico, siendo esta la causa principal de los resultados contradictorios y las variables encontradas en las inoculaciones realizadas en condiciones de campo (30).

En resumen, las investigaciones para la aplicación de *Azospirillum* deben dirigirse al entendimiento básico sobre la ecología microbiana, genética, bioquímica y tecnológica de la bacteria junto con la experimentación en campo.

AISLAMIENTO, IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN: PRINCIPALES RESULTADOS EN *Azotobacter* sp.

En Cuba, en el cultivo de la caña de azúcar se realizaron muestreos rizosféricos en diferentes tipos de suelos, para el aislamiento y la cuantificación de las poblaciones de *Azotobacter* sp; los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre ellos. Las mayores poblaciones se encontraron en los suelos oscuros plásticos para el cultivar C 120-78 (6). Este resultado guarda una relación estrecha con las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, tales como la materia orgánica presente, el calcio en el complejo de absorción, el pH y los carbonatos libres, entre otros.

Los estudios básicos y de campo realizados en caña de azúcar sobre esta bacteria mostraron las siguientes conclusiones:

- ✦ La selección de cepas por ARA mostraron resultados aceptables y se destacaron dos de ellas, que mostraron una respuesta positiva al interactuar con la planta los incrementos en variables como la altura de las plantas, el peso seco y fresco, entre otras.
- ✦ Se caracterizó en los medios Ashby y Dimargón como colonias lisas, grandes y ligeramente convexas, primeramente brillantes y traslúcidas, tomándose más tarde opacas cremosas y de color beige a carmelita, con un halo difuso alrededor de la colonia.
- ✦ Se detectó la presencia de la bacteria en todos los tipos de suelos.

VALIDACIÓN EN CAMPO

De un total de 22 experiencias realizadas en campo con *Azotobacter* sp, de ellas 11 relacionadas con las dosis de aplicación, seis con los métodos y momentos y cinco extensiones. Se obtuvo una respuesta productiva muy baja de la planta, aunque en general las dosificaciones entre 30 y 45 L.ha⁻¹ producen tendencias a incrementar los rendimientos agrícolas (6).

LIMITACIONES PARA SU USO EN LA AGROTECNIA DEL CULTIVO

Las principales limitaciones de esta bacteria en el cultivo están asociadas a las bajas respuestas obtenidas con su empleo.

✦ *Acetobacter diazotrophicus*

Esta bacteria se encuentra en el cultivo de la caña de azúcar y es renombrada *Gluconacetobacter diazotrophicus*, como endófito que favorece el crecimiento de la planta e incrementa el contenido de nitrógeno total (31).

AISLAMIENTO, IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN: PRINCIPALES RESULTADOS EN *Acetobacter* sp (*Gluconacetobacter diazotrophicus*)

Esta bacteria endófito alcanza altas poblaciones en tejidos ricos en azúcar (32). En el interior de la caña de azúcar, se encuentra un ambiente propicio para liberar el nitrógeno. En las variedades cubanas ML 3-18 y Ja 60-5, se demostró que la savia del apoplasto del entrenudo de los tallos es el lugar donde se aloja este microorganismo (33), como se muestra en la Figura 2.

Las evaluaciones de ARA mostraron niveles adecuados de nitrógeno, diferenciándose de acuerdo con la cepa del microorganismo que se trate. Los estudios sobre esta bacteria en Cuba han logrado obtener un número importante de aislados y conocer su actividad nitrificadora y estimuladora del crecimiento, así como su relación con otros microorganismos asociados al cultivo (33, 34).

AVANCES Y PERSPECTIVAS DEL USO DE *Acetobacter* (*Gluconacetobacter diazotrophicus*) COMO BACTERIA ENDÓFITO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Para obtener resultados en la aplicación de esta bacteria, son indispensables los estudios de diversidad del microorganismo, porque solo se justifican en aquellos cultivos donde se encuentran poblaciones sub-optimales. En Brasil, no se ha encontrado respuesta a la inoculación en caña, debido a las altas poblaciones autóctonas, que al parecer satisfacen completamente las necesidades del sistema planta; en Cuba tampoco se encontró respuesta en los estudios sobre la concentración de la célula en hojas jóvenes de la caña de azúcar (35, 36, 37).

Las investigaciones sobre esta bacteria han permitido estudiar la tolerancia del microorganismo a las altas temperaturas, sequía y salinidad (12).

Se plantea que la inoculación de la bacteria en caña de azúcar es beneficiosa, pero no siempre resulta persistente, dependiendo del genotipo de la cepa de caña y la variedad que se utilice (33).

Las investigaciones indican que para la aplicación de esta bacteria como biofertilizante aún quedan aspectos importantes por estudiar, sobre todo la interacción del microorganismo con la planta. Los estudios futuros deben priorizar las características genéticas de acuerdo con la variedad que se estudie, ya que este factor es determinante en la composición química, bioquímica y morfológica de los tejidos.

En resumen, se plantea continuar estudiando y profundizando en las asociaciones endófitas, sobre todo en las posibilidades de esta bacteria en función del beneficio agronómico que se pudiera obtener, así como la disminución en el empleo de fertilizantes químicos (3). Solo queda trabajar y continuar investigando, para de esta forma disminuir los insumos en la agricultura cañera y contribuir a la protección del medio ambiente.

PRINCIPALES RESULTADOS EN *Burkholderia cepacia*

En los últimos años, esta especie adquiere vital importancia en estudios relacionados con la agricultura, debido fundamentalmente a la producción de una amplia gama de metabolitos activos, que influyen positivamente en el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas (38, 39, 40).

En la década de los 90, los taxónomos consideran que las cepas de este género se encontraban muy distantes de las *Pseudomonas* spp y la renombraron *Burkholderia cepacia* (41).

Las poblaciones microbianas de estas bacterias tienen un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, porque son

capaces de colonizar las raíces de forma externa y, en algunos casos, internamente (42).

El interés sobre estas bacterias radica en tres aspectos fundamentales: el aumento de la toma de agua y nutrientes (43), la protección de la raíz del ataque de agentes patógenos (44, 45) y la producción de fitohormonas reguladoras del crecimiento (46).

Esta bacteria se ha catalogado un complemento importante en el manejo integrado de las enfermedades de las plantas (37), porque tienen la capacidad de crecer colonizando los órganos de las plantas, tales como las raíces y los tubérculos, y producir una gran variedad de metabolitos secundarios tóxicos a hongos y bacterias fitopatógenos, entre los cuales se destacan los sideróforos, antibióticos y alcaloides quinolisidínicos.

En caña de azúcar se aislaron bacterias de este género en seis variedades, que se clasificaron hasta el nivel de especie (3). Además, se determinaron las que eran capaces de solubilizar fuentes de fósforo inorgánico y se encontraron incrementos en el rendimiento agrícola en un 25 % (47, 48).

En años recientes, en caña de azúcar, se han aislado diferentes especies de microorganismos pertenecientes al género *Burkholderia*, con características tales como la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, producir fitohormonas y degradar compuestos tóxicos, lo que indica las posibilidades de empleo en un futuro próximo.

Sobre esta bacteria en caña de azúcar como biofertilizante, no se ofrecen suficientes resultados y aún quedan muchas interrogantes, pero constituye una posible variante para el cultivo, sobre todo como patógeno de plagas y enfermedades.

PRINCIPALES RESULTADOS EN *Pantoea* sp

Se describe que el género *Pantoea* está formado por siete especies, entre las que se destaca *Pantoea dispersa* como agente de control

biológico (48); es Gram negativa de forma bacilar y anaeróbica facultativa, capaz de solubilizar fósforo y estimular notablemente el crecimiento de las partes verdes y raíz de las plantas (4).

En Cuba, en el cultivo de caña de azúcar se muestra un resultado novedoso, al descubrir a *Pantoea* sp como una nueva especie endófito, como se muestra en la Figura 2 (35). Ellos descubrieron por primera vez que este cultivo alberga esta especie, aspecto no informado antes por ningún investigador en el mundo y la destacan como alta fijadora de nitrógeno.

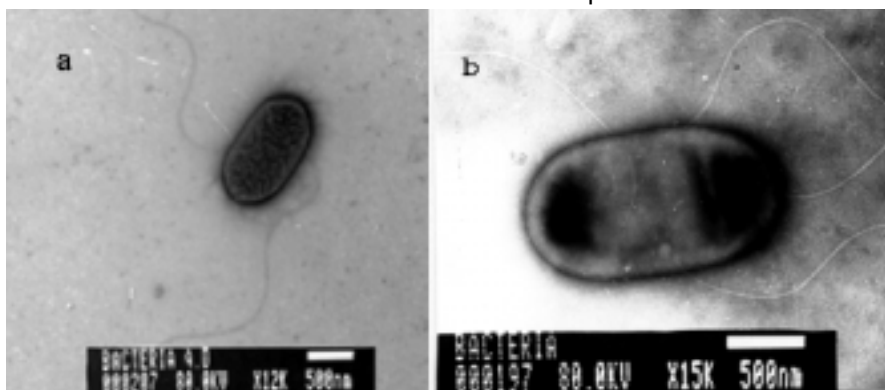


Figura 2. Microfotografía al microscopio electrónico de transmisión a) Aislado T2 de *Gluconacetobacter diazotrophicus* b) Aislado 9C de *Pantoea* sp. ambos microorganismos tienen forma de bacilo

Por otra parte, esta bacteria tiene capacidad significativa para producir hidrógeno, lo que hace pensar en su uso para la producción de energía a partir de los derivados de la industria azucarera. El hidrógeno como combustible es adecuado, desde el punto de vista del medio ambiente, su combustión genera una energía "limpia", ya que el residuo que queda es agua (48).

AVANCES Y PERSPECTIVAS DEL USO DE LA BACTERIA ENDÓFITA (*Pantoea* sp.) COMO PROMOTORA DEL CRECIMIENTO VEGETAL

Aún no existen explicaciones científicas bien definidas del mecanismo de acción de esta bacteria, como promotora del crecimiento vegetal en el cultivo de la caña de azúcar; no obstante, constituye una variante que los estudiosos del tema deben priorizar.

CONCLUSIONES

- ❖ Se han demostrado los efectos positivos de las *PGPB* en el cultivo de la caña de azúcar, dentro de los cuales se pueden destacar la fijación del nitrógeno y estimulación del crecimiento vegetal.
- ❖ Los estudios de la *PGPB* en el cultivo de la caña de azúcar se basan fundamentalmente en el aislamiento y la identificación de cepas de microorganismo, evaluación, selección, conservación y fermentación del biopreparado y validación en campo.

- ❖ Para los estudios en campo, se recomienda un esquema de trabajo basado en un grupo de elementos metodológicos, como la formulación del producto, el análisis integral al suelo (antes de aplicarse en campo), tener en cuenta el tipo de suelo y la cepa de caña que se va a inocular, así como otros factores como la variedad, dosis a aplicar y los métodos que se utilicen.
- ❖ Se destaca el género *Azospirillum* y la especie *Azospirillum brasilense* como el más estudiado, con resultados importantes para ser incorporado como alternativa nutritiva en la caña de azúcar, disminuyendo así los costos elevados de la fertilización química y su impacto en el medio ambiente.
- ❖ Existen estudios que avalan la utilización de un grupo de *PGPB* en el cultivo de la caña de azúcar, pero es necesario profundizar en las investigaciones, para que los resultados existentes constituyan

alternativas viables en la nutrición de la planta.

- ❖ Las especies *Gluconoacetobacter diazotrophicus*, *Pantoea* sp y *Burkholderia cepacia* requieren de estudios básicos elementales, que definan la interacción planta-microorganismo y los mecanismos de acción para ser aplicados exitosamente como biofertilizantes en caña de azúcar.

REFERENCIAS

1. Álvarez, A. Caña de azúcar. Rendimiento y producción. [CD-ROM] En: Primer Seminario Nacional de Cátedras Azucareras de las Universidades Cubanas (2004, 10-11 jun.: La Habana) Memorias. La Habana: Universidad de La Habana, 2004. ISBN: 959-16-0257-7.
2. Nova, A. La agricultura en Cuba. Evolución y trayectoria (1959-2005). La Habana: Editorial Ciencias Sociales, 2006.
3. INCA. Congreso Científico (14: 2006 noviembre 9-12: San José de las Lajas) Programa y resúmenes [CD-ROM] La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2006. ISBN 959-7023-27-X.
4. Riera, M. C. Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre suelo Ferralítico rojo. [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2003. 120 p.
5. Molina, M.; Mahecha, L. y Medina, M. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Rev. Col. Cienc. Pec.*, 2005, vol. 18, p. 2.
6. Rodríguez, S. y Romero, J. Efecto de biofertilizantes y estrés por hidromorfía en vitroplantas de caña de azúcar, variedad C 120-78. *Temas Agrarios*, 2007, vol. 12, no. 2, p. 4-20.
7. Martín, J. R. *et al.* La Caña de Azúcar en Cuba. La Habana: Editorial Científico-Técnica, 1987. 612 p.
8. Carrobelló, C. Tierras ex cañeras. Diversificación. *Revista Bohemia*, 2005, vol. 97, no. 9, p. 28-35.
9. Holguín, G. *et al.* Promoción del crecimiento en plantas por bacterias de la rizosfera. *Agricultura Técnica en México*, 2003, vol. 29, no. 2, p. 201-211.
10. Sánchez, J. M. Diversidad y adaptación de *Burkholderia cepacia* endófito de teocintle (*Zea mays* S, mexicana, L.) y de otros ambientes [en línea] Sociedad Planeta Vivo. [Consultado: 24/ 12 /2008] Disponible en: <<http://www.planetavivo.org/drupal/BurkholderiaCepacia>>
11. Muñoz, J. y Caballero-Mellado, J. *Gluconacetobacter diazotrophicus*, modelo de bacteria endófito. [en línea] Programa de Ecología molecular y microbiana. Centro de Investigación sobre Fijación Biológica del Nitrógeno. Universidad Autónoma México. [Consultado: 25/5/2006] Disponible en: <<http://www.microbiologia.org.mx/microbiosenlinea/>>.
12. Shah, S.; Li, J.; Moffatt, B. A. y Glick, B. R. Isolation and characterization of ACC deaminase genes from two different plant growth-promoting rhizobacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 1998, vol. 44, p. 833-843.
13. Thomas-Bauzon, D.; Weinhard, P.; Villecourt, P. y Balandreau, J. The spermosphere model and isolating N fixing bacteria from the rhizosphere of rice. *Canadian Journal of Microbiology*, 1982, vol. 28, p. 925-928.
14. Kabir, M.; Faure, D.; Heulin, T.; Achoawk, W. y Bally, R. Oligonucleotide probes based on 16S rRNA sequences for the identification of four *Azospirillum* species. *Canadian Journal of Microbiology*, 1995, vol. 41, p. 1081-1086.
15. Pérez, J. y Casas, M. Estudio de la interacción planta-*Azospirillum* en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* sp). *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no 4, p. 13-16.
16. Parra, Y. y Cuevas, F. Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 2001, vol. 23, no. 3, p. 31-41.
17. Bashan, Y. y Bashan, L. E. Protection of tomato seedlings against infection by *Pseudomonas syringae* pv. Tomato by using the plant growth promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, vol. 68, no. 6, p. 2638-2645.
18. Balletta, A.; Venanzi, S. y Krüger, H. Respuesta del cultivo de trigo a la inoculación con biofertilizante en el suelo de la provincia de Buenos Aires. [en línea] Ridavia: INTA, 2002. 6 p. [Consultado: 24/4/2009. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/Bordenave/contactos/autores/bolleta/mocorriz_trigo.pdf>
19. Hernández, A.; Plana, R.; Martín, G. y Santander, J. L. Estudio de algunos géneros microbianos asociados a diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no 2, p. 10-15.
20. Pazos, M. y Hernández A. Aislamiento e identificación de cepas de *Azospirillum* sp provenientes de la rizosfera del arroz *Oryza sativa*) *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 2, p. 17-19.
21. Pulido, L. E.; Cabrera, A. y Medina, N. La biofertilización con rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de posturas de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mil) y cebolla (*Allium cepa*). II Colonización radical y estado nutricional. *Cultivos Tropicales*, 2003, vol. 24, no. 2, p. 7-14.
22. Carcaño-Montiel, M. G. *et al.* Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Kebsiella* aislada de maíz y teocintle. *Terra Latinoamericana*, 2006, vol. 24, no. 4, p. 493-502.
23. Arzola, N. y García, E. Enmiendas y fuentes alternativas de nutrientes para la caña de azúcar. La Habana: Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 1997. 52 p.
24. Fernández-Vega, Z. C. Capacidad fijadora de nitrógeno *in vitro* en dos cepas de *Azospirillum* en plantas de caña de azúcar. [Tesis presentada para optar por el grado de Master en Genética]. Montecillo: Colegio de Posgraduados, 1995. 112 p.
25. Villar, J.; Viñals, M.; Álvarez, X. y Dorta, M. Tecnología de inoculación de *Azospirillum* y factibilidad económica de su aplicación agrícola en cultivos seleccionados. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 3, p. 23-28.

26. Fernández, R. Obtención y evaluación de un inoculante microbiano a partir de *Azospirillum* spp. [Tesis presentada para optar por el título de maestro en ciencias microbiológicas]. La Habana: ICIDCA, 1999.
27. Saura, G. y Fernández, R. Fijador de nitrógeno *Azospirillum* sp. [en línea] San Salvador: FIAGRO, 2003 [consultado: 5/11/2006]. Disponible en: www.fiagro.org.sv/archivos/0/431.pdf.
28. Torriente, D. Evaluación de la aplicación de biofertilizante a base de *Azospirillum* sp en vitroplántulas de caña de azúcar. [Tesis presentada en opción al título académico de Master en Ciencias Agrícolas]. Matanzas: Universidad Camilo Cienfuegos, 1999.
29. Torriente, D. 2009. Aplicación de *Azospirillum* en caña de azúcar. 15 años de experiencia. [en línea] En: Taller de biofertilizantes. ICIDCA. septiembre 2009. [Consultado: 27/10/2009]. Disponible en: http://www.cyted.org/documentos/eventos/doc_3670.pdf
30. Ortega, E.; Fernández, L.; Ortega-Rodés, P. y Rodés, R. 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/...Ortega/>.
31. González, O. Interacciones de *Gluconacetobacter diazotrophicus* y cepas de bacterias endófitas de la caña de azúcar. [Trabajo de Diploma] La Habana: Universidad. Facultad de Biología. 1999 p. 29, 30.
32. Dong, Z.; Canny, M. J.; McCully, M. E.; Roboredo, M. R.; Cabadilla, C. F.; Ortega, E. y Rodés, R. A nitrogen-fixing endophyte of sugar cane stems. A new role for the apoplast. *Plant Physiol.*, 1994, vol. 105, p. 1139-1147.
33. Reis-Junior, F. B. dos, Massena-Reis, V.; Urquiaga, S.; Döbereiner, J. Influence of nitrogen fertilization on the population of diazotrophic bacteria *Herbaspirillum* spp. and *Acetobacter diazotrophicus* in sugar cane (*Saccharum* spp.). *Plant and Soil*, 2000, vol. 219, no. 1-2, p. 153-159.
34. Dibut, B.; Ortega, M.; Martines, R.; Fey, L. y Ríos, Y. Nuevos asilados de *Gluconacetobacter diazotrophicus* en cultivos de importancia económica para Cuba. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 2, p. 5-10.
35. Reis-Junior F. B. dos, Silva, L. G. da; Reis, V. M. and Döbereiner, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. [online] *Pesq. Agropec. Bras.*, 2000, vol. 35, no. 5. p. 985-994 [Consultada: 16/3/2009] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2000000500016&lng=en&nrm=iso. doi: 10.1590/S0100-204X2000000500016.
36. James, E. K. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis. *Field Crop Research*, 2000, vol. 65 p. 198-210.
37. Hernández, A.; García, D.; Hernández, J. y Heydrich, M. Determinación de algunos géneros bacterianos presentes en la rizosfera del cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 3, p. 10-14.
38. Bevivino, A.; Damalstri, C.; Tabacchioni, S. y Chiarini, L. Efficacy of *Burkholderia cepacia* MCL 7 in disease suppression and growth promotion of maize. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, vol. 31 no. 3-4, p. 225-231.
39. Vandamme, P.; Pot, B.; Gillis, M.; Vos, P., De Kersters, K. y Swigs, J. Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics. *Microbiol. Rev.*, 1996, vol. 60, p. 407-438.
40. Kloepper, J. W. Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents. En: Metting, F. B., ed. *Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management*. New York: Marcel Dekker Inc., 1993, p. 255-274.
41. Hernández, A.; Medina, N.; Quiñónez, M.; Hofte, M.; Hendrich, M. y Hernández, A. N. Strain identification of *Burkholderia cepacia* and *Pseudomonas fluorescens* associated to maize crop by polyphasic taxonomi. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 2004, vol. 22, no. 2.
42. Mattos, K. A.; Jones, C.; Heise, N.; Previsto, J. O. y Mendoca-Previsto, L. Structure of an acidic exopolysaccharide produced by the diazotrophic endophytic bacterium *Burkholderia brasiliensis*. *Eur. J. Biochem.*, 2001, vol. 268, p. 3174-3179.
43. Erazo, J. P. Propuesta para la aplicación de microorganismos promotores de la descomposición de los residuos de cosecha y promotores del crecimiento vegetal en caña de azúcar. [en línea] En: *Controlbiologico.com*. Agricultura Orgánica. Palmira, 2009. [Consultado 24/12/2009] Disponible en: http://www.controlbiologico.com/propuesta_cana.htm
44. Rivera, R. *et al.* La biofertilización con bacterias rizosféricas *Azospirillum brasilense* y *Burkholderia cepacia* en gramíneas. [Informe Final Proyecto de Investigación Código 003-00098] La Habana: INCA, 88 p.
45. Janda, J. M. New members of the family *Enterobacteriaceae*. En: Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K. and Stackebrandt E. *The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria*. 3. ed. New York: Springer, 2006. [Vol. 4. Bacteria: Firmicutes, Cyanobacteria]. ISBN: 10-0-387-25494-3.
46. Gohel, V.; Chaudhary, T.; Vyas, P. y Chatpar, H. S. Isolation and identification of marine chitinolytic bacteria and their potential in antifungal biocontrol. *Indian J. Exp. Biol.*, 2004, vol. 42, no. 7, p. 715-720.
47. Fernández, A. I.; Villaverde, M.; Nicolás, J. A.; García-Gómez, A. y Malo, J. *Pantoea dispersa*; rhizobacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR). En: Congreso SEAE. Agricultura y Alimentación Ecológica. (VIII: 2008 16-20 sep. : Bullas) Murcia, 2008.
48. Loiret, F. G.; Ortega, E.; Kleiner, D.; Ortega-Rodés, P.; Rodés, R. y Dong, Y. A putative new endophyte nitrogen fixing bacterium *Pantoea* sp from sugar cane. *Journal of Applied Microbiology*, 2004, vol. 97, no. 3, p. 504-511.

Recibido: 16 de julio de 2008

Aceptado: 19 de octubre de 2009