

Uso de *Azospirillum* en la agricultura

Uses of *Azospirillum* in the agriculture

Maritza Hernández Castellano¹, Caridad Terry Espinosa¹, Minerva Almogoea Fernández¹

Resumen

El trabajo tuvo como objetivo actualizar la información acerca de los diferentes usos de *Azospirillum* en la agricultura. Se verifica que estas bacterias son muy versátiles, capaces de establecer relaciones de simbiosis y mutualismo con las plantas y otros microorganismos. Son nutricionalmente variables, con efectos sobre la fijación de nitrógeno atmosférico, producción de fitohormonas, solubilización de minerales y nutrientes para las plantas. Influyen además, en el incremento del volumen de la raíz e inducen la resistencia a patógenos. Pueden servir como alimento a la micro y macro fauna siempre deficiente de nutrientes, son capaces de incrementar el rendimiento de cultivos agrícolas y pueden ser utilizadas como control biológico, lo que demuestra las potencialidades para su uso en la agricultura.

Palabras clave: Bacterias, fijación de nitrógeno, plantas, simbiosis, mutualismo.

Abstract

The work had as objective to update information about the different uses of *Azospirillum* in the agriculture. It is verified that these bacterias are very versatile, capable to establish symbiotic and mutualism relationships with the plants and other microorganisms. They are nutritionally variable, with effects over the atmospheric nitrogen fixation, phytohormones production, minerals and nutrients solubilization for plants. They also have influence on the increment of the volume of the root and they induce resistance to pathogens. They can serve as food to the micro and macro fauna in which nutrients are always insufficient, and they are capable to increase the yield of agriculture crops and they can be used as biological control, thus, its potentialities for using in agriculture are proved.

Keywords: Bacterias, plants, nitrogen fixation, symbiosis, mutualism.

Introducción

La agricultura mundial ha tendido a buscar la sustentabilidad de los cultivos a través de alternativas de origen biológico que sean más económicas, que mejoren la rentabilidad de los cultivos y que eviten el deterioro del medio ambiente, alternativa que puede ser utilizada para la sustitución parcial o total de los fertilizantes químicos. La aplicación de microorganismos que interactúen con las plantas es considerada una opción viable en muchos países y en la actualidad se

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Cienfuegos. Cuba. Email: mhernandez@ucf.edu.cu

busca el desarrollo de biofertilizantes basados en bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Caballero et.al, 2010).

En el suelo existe toda una comunidad de microorganismos que pueden tener una relación mutualística con las plantas. Entre estos se encuentran las bacterias fijadoras de nitrógeno que pueden aportar varios beneficios, como una mayor nutrición, ser responsables de su mejor crecimiento, de los incrementos observados en el contenido de minerales y del rendimiento de los cultivos. (Toro et.al, 2008).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno juegan un rol importante en los sistemas agrícolas sustentables por su beneficio ambiental al formar parte de procesos naturales de fijación biológica del Nitrógeno (N_2), al reducirlo a ion amonio (NH_4^+), con ello se aminora no sólo el gasto de una fertilización convencional, sino también los peligros que estos representan para el medio ambiente. En la actualidad se conoce un gran número de bacterias que fijan nitrógeno atmosférico en forma libre o asociativa, algunas se destacan por su potencial como biofertilizantes y promotoras del crecimiento; uno de los géneros más conocidos es la bacteria del género *Azospirillum* (proviene del francés, Azote, significa nitrógeno y *Spirillum* que significa pequeña espiral) (Romero et.al, 2003)

En las dos últimas décadas las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, han sido objeto de estudio con un alto grado de interés. En años recientes se ha despertado cierta controversia con este grupo, ya que no se sabe hasta qué punto se puede considerar a una bacteria como promotora de crecimiento, por lo que se han establecido cuatro características generales que definen este grupo: a) Que no requieran de la invasión interna de tejidos en plantas, b) Que tengan una elevada densidad poblacional en la rizósfera después de su inoculación, c) Que presenten capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y como consecuencia puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta y d) Que no produzcan daño al hombre ni a otros microorganismos (Rueda et.al, 2009).

Según Bouillant (1997), las bacterias del género *Azospirillum*, han sido objeto de estudio desde la década del setenta, su inoculación en las plantas favorece a un aumento significativo del sistema radical, inducen resistencia a agentes patógenos, proveen de elementos tan necesarios como el nitrógeno, inhibe la proliferación de plantas parásitas y producen hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, lo que permite un desarrollo más económico y saludable de los cultivos.

La primera especie de *Azospirillum* se aisló en Holanda por Beijerinck a partir de suelos arenosos pobres en nitrógeno, originalmente se llamó *Spirillum lipoferum*. Esta bacteria posteriormente se aisló de suelo adherido a pastos marinos secos en Indonesia. Desde entonces, se han aislado cepas de *Azospirillum* a partir de la filosfera (superficie de la planta que se encuentra expuesta al aire), de raíces de numerosos pastos (silvestres y cultivados), de cereales y de plantas de diversas familias, así como de suelos tropicales, subtropicales, templados y árticos (de-Bashan et.al, 2007). Han sido aisladas particularmente de la rizosfera de la superficie de la raíz y en menor grado del interior de la raíz, se conoce bien su relación con las plantas pero poco acerca de la amplitud de su nicho ecológico y si es capaz de multiplicarse sin estar asociada a la planta (Döbereiner et.al, 1976). Posee una amplia distribución ecológica, ya que ha sido posible detectar su

presencia en zonas templadas, tropicales y subtropicales e inclusive, en tundras y sitios semidesérticos del casquete polar ártico(Velazco, 2001).

Hay que desatacar que el género *Azospirillum* posee características que lo convierten en un microorganismo capaz de competir en la rizosfera de varias especies de plantas y que le proporcionan mayores posibilidades de subsistencia en el nicho ecológico(Parra & Cuevas, 2001). Pueden adaptarse rápidamente a los frecuentes cambios en la disponibilidad de nutrientes y la interacción con los microorganismos nativos que también compiten por estos nutrientes. Estas interacciones pueden ser antagónicas o sinergistas o del tipo predador presa, donde las células de *Azospirillum* pueden servir como alimento a la micro y macro fauna siempre deficiente de nutrientes (Bashan & Levanony, 1991).

Según estudios de Yaacov & Labandera (1994), las células de este género son móviles tanto in vitro como en el suelo y son capaces de adaptar su flagelación a diferentes ambientes. Aunque pueden desarrollarse tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas, son preferentemente microaerofílicas en presencia o ausencia de fuentes combinadas de de nitrógeno.

La presencia de respuestas a diferentes compuestos, asociada a la existencia de vías metabólicas alternativas, convierten a *Azospirillum* en un organismo nutricionalmente variable, le permite consumir una amplia variedad de ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos y compuestos aromáticos que se encuentren en el medio en el que se desarrolle (Didonet, 1997; Domelen, 1998).

Es por ello que este trabajo tuvo como objetivo actualizar la información de los usos de *Azospirillum* en la agricultura.

Desarrollo

En las últimas décadas se ha investigado el papel que desempeñan las bacterias de la rizósfera o rizobacterias en poáceas como caña de azúcar, (*Saccharum officinarum* L.), maíz (*Zea mayz* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y pastos tropicales. Según Vital & Mendoza (2014), en el caso de las bacterias del género *Azospirillum*, los resultados indican que la mayoría de los estudios realizados sobre la interacción de estas bacterias con las plantas se han efectuado bajo condiciones de invernadero y, posteriormente, a nivel de campo.

Varios artículos científicos describen que la inoculación con diferentes cepas de *Azospirillum* provoca el aumento de peso seco total, tamaño de la hoja, brotes, aparición temprana de la espiga, número y granos en estas, peso y tamaño del grano, altura de la planta, índice de área foliar y tasa de germinación (Woodard & Bly, 2000; Velazco, 2001). García (2006), también coincide con estos autores, al plantear que en investigaciones se han observado efectos marcados sobre el sistema radical de las plantas, dados por el incremento en el número de raíces, la aparición temprana de los pelos radicales, el aumento de la longitud lateral, las cuales incrementan el volumen.

Las bacterias del género *Azospirillum* hacen posible que se mantengan altos los niveles de fijación de nitrógeno a bajas tensiones de oxígeno, aún en condiciones anaeróbicas, además estas bacterias pueden mantener su población en

condiciones de estrés por diferentes mecanismos fisiológicos (Cárdenas, et.al, 2010)

Otros de los efectos de la inoculación de *Azospirillum* en plantas están dados por el desarrollo radicular al colonizar tanto la parte interna como la externa de la raíz. Algunos de los cambios morfológicos que sufre el sistema radicular se encuentra relacionado directamente con la concentración del inóculo, lo cual aumenta el volumen, hay un incremento en el área de la superficie, estimulación de la exudación; así como en la morfología externa de las raíces (Vital & Mendoza, 2014).

Las cepas de *Azospirillum* son bien conocidas como Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR, conocidas así por sus siglas en inglés) debido a su capacidad para estimular directamente el crecimiento de las plantas, a través de diversos mecanismos (Vital & Mendoza, 2014).

El género *Azospirillum* se ha investigado a profundidad por su capacidad promotora del crecimiento vegetal y se ha convertido en un excelente modelo para estudiar la interacción planta-microorganismo. Estas investigaciones han derivado en la fabricación de inoculantes con cepas de este género usadas a escala comercial (Helman, et.al, 2011).

Las PGPR pueden inducir a la promoción del crecimiento de la planta por mecanismos directos e indirectos. Los mecanismos directos, dados porque las bacterias le proporcionan a la planta metabolitos sintetizados por ella misma, estimulan el crecimiento vegetal incluyendo la producción de fitohormonas como las auxinas y reduciendo el nivel de etileno, mejorando la concentración de nutrientes –hierro o fósforo–, así como la estimulación de mecanismos de resistencia a enfermedades de la planta (Antoun, et.al, 2005).

Existe en la literatura varios ejemplos de sinergismo observados en el crecimiento vegetal; cuando se han utilizado inoculantes que contienen una mezcla de microorganismos. En estudios realizados por Vital & Mendoza (2014), se demostró que entre los mecanismos indirectos, las PGPR actúan como agentes de biocontrol, reduciendo enfermedades provocadas por microorganismos fitopatógenos, estimulando otras simbiosis benéficas y protegiendo a la planta por medio de la degradación de sustancias dañinas en suelos contaminados. A través de mecanismos de acción directos e indirectos, estas bacterias pueden permitir una reducción significativa en el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos.

Azospirillum es una de las PGPR que más se ha usado a escala comercial, incrementando de manera significativa la producción de diferentes cultivos de importancia económica. Se ha reportado que los biofertilizantes que contienen esta rizobacteria incrementan en un 9 % aproximadamente la producción de semillas y en un 18% el peso seco de la planta de trigo (*Triticum aestivum* L.) (Veresoglou y Meneses, 2010). Además, incrementan el rendimiento entre un 5 y 30% en maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), arroz (*Oryza sativa* L.) y leguminosas (Dobbelaere, et.al, 2001; Hungria, et.al, 2010).

Además de inducir cambios en la morfología de la planta, estas bacterias también afectan el contenido de proteínas, metabolitos secundarios y la inducción de resistencia a patógenos (Cangahuala-Inocente, et.al, 2013; Chamam, et.al, 2013).

Rodríguez,et.al (2009), demostraron la tolerancia a la sequía en maíz (*Zea mayz* L.) al inocular con *Azospirillum brasilense* modificado genéticamente para aumentar su capacidad de sintetizar un osmoprotector y tolerar el estrés en diversas especies de organismos; de esta manera concluyeron que le confiere tolerancia al estrés osmótico a la bacteria y a las plantas de maíz inoculadas con esta cepa. Además, causa un aumento en la biomasa de las plantas.

Caballero,et.al (2010), afirman que a partir de investigaciones realizadas en México se han inoculado cepas de *Azospirillum brasilense* seleccionadas para promover el rendimiento de los cultivos de cereales y maíz, como una alternativa tecnológica para aquellas regiones donde no se aplicaban fertilizantes minerales, o bien, para disminuir su uso en otras regiones.

Los resultados obtenidos por Caballero,et.al (2010), concuerdan con los reportados por Uribe & Dzib(2006), en los cuales se aprecia un incremento en el rendimiento de maíz de 18 a 33%, por efecto de la aplicación de microorganismos benéficos, así mismo, el porcentaje obtenido con la cepa V-539, aunque fue inferior al de esos reportes, puede ser atribuido a la estimulación del crecimiento de la raíz, lo que permitió lograr un efecto positivo sobre el rendimiento de este cultivo después de ser tratado con microorganismos benéficos.

En este sentido Córdova,et.al (2013), exponen que la integración de fijación biológica de nitrógeno a cultivos mejoraría la sustentabilidad de sistemas agrícolas como maíz, sorgo y trigo, demandantes de N₂ o de leguminosas.

Se ha podido comprobar que *Azospirillum* tanto en condiciones de invernadero y a nivel de campo desempeña un rol muy importante en las poáceas y leguminosas, provocando el aumento de peso seco total, tamaño de la hoja, brotes, aparición temprana de la espiga, número y granos en estas, peso y tamaño del grano, altura de la planta, índice de área foliar y tasa de germinación, cambios en el sistema radicular; influye también en la tolerancia a la sequía en maíz. Se ha utilizado, además, como alternativa tecnológica para aquellas regiones donde no se aplicaban fertilizantes minerales, o bien, para disminuir su uso en cultivos como el maíz y los cereales de modo que la integración de fijación biológica de nitrógeno a cultivos puede mejorar la sustentabilidad de sistemas agrícolas como maíz, sorgo y trigo, cultivos que demandan grandes cantidades de N₂.

Resultados de experimentos en Cuba

En experimentos realizados en la década del 90 en el cultivo del arroz en Cuba por Cuevas,et.al (1994); y Velazco & Castro (1999), en macetas, se demostró el efecto beneficioso de *Azospirillum brasilense* al ahorrar el 33 % del fertilizante nitrogenado y un momento de su aplicación, también se demostró que hasta en suelos salinos con 2500 ppm, se obtenían resultados satisfactorios con la inoculación de este microorganismo.

La aplicación al arroz de esta bacteria a razón de 20 L.ha⁻¹ con nitrógeno inorgánico muestra que es posible ahorrar el 25 % de fertilizante inorgánico y obtener rendimientos agrícolas similares a los obtenidos con la aplicación de la dosis completa de nitrógeno (Hernández, 2000).

Otros estudios realizados con el objetivo de evaluar el efecto de la biofertilización con *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum lipoferum*, por separado y con relaciones NP, NK, PK y NPK en fase de semillero y diferentes relaciones nutricionales en fase de trasplante, sobre la altura y masa fresca de las plántulas al trasplante, el

número de frutos y rendimiento agrícola en el cultivo del tomate Var. Campbell-28, comparado con un testigo de producción y un control sin fertilizar, manifestaron un mejor comportamiento para el tratamiento *Azospirillum brasilense* más NK en semillero y relación nutricional NPK en trasplante (Hernández, et. al 2000).

También se investigó el efecto de *Azospirillum* sobre otros cultivos. Dibut et.al (2004), demostraron que *Azospirillum sp.*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, y *Herbaspirillum sp.* asociados a los cultivos de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*(L)Schott in Schott et Endl), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), boniato (*Ipomoea batatas*(L) Lam.), maíz (*Zea mayz* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) mostró un efecto marcado, entre 40-60 %, sobre diferentes parámetros de crecimiento y desarrollo (altura de la planta, número y tamaño de las hojas, diámetro del tallo y biomasa, entre otros), así como aumentos promedio en el rendimiento, de un 25-54 %.

En estudios realizados por Torriente (2010), al *Azospirillum brasilense* demostraron 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 la estimulación del crecimiento vegetal de modo que esta puede ser alternativa nutritiva en la caña de azúcar, disminuyendo así los costos elevados de la fertilización química y su impacto en el medio ambiente pero es necesario profundizar en las investigaciones, para que los resultados existentes constituyan alternativas viables en la nutrición de la planta

En otros estudios realizados en Cuba por Guevara,et.al (2013),pudo demostrar que con la aplicación de Nitrofix (medio de cultivo industrial, de color pardo, compuesto por miel final de caña,hidrolizado de levadura y/o licor de fructosa, donde el principio activo lo constituye la bacteria *Azospirillum brasilense*,elaborado con la cepa autóctona "8 INICA" a una concentración de 1 a 5 x 10⁹ufc/mL.) al cultivo de la caña de azúcar en áreas de Quivicán, con el empleo de una dosis de 75 a 100 L ha⁻¹, a una concentración de 1.5x10⁹ufc/ml, se logró la sustitución de 60 % del fertilizante químico nitrogenado (Urea) empleado para ese cultivo.

También se estudiaron los cultivos de maíz y calabaza (*Cucurbita moschata* Lam.), recibieron el producto a una dosis de 40 L ha⁻¹ con una concentración de 6,8x10⁸ufc/mL. Las evaluaciones realizadas durante el ciclo de estos cultivos demostraron que la aplicación del biofertilizante Nitrofix combinado con el fertilizante nitrogenado, Urea, permitió alcanzar un mayor desarrollo vegetativo, incremento del peso, tamaño y número de frutos por planta y por tanto mayor rendimiento en ambos cultivos, entre 7 y 10 tha⁻¹; lo que representa entre 13 y 23 % de aumento en la producción. Se logró reducir en 50 % la fertilización mineral nitrogenada (Guevara et.al, 2014).

También se evaluó el efecto del Nitrofix en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en las condiciones de suelo ferralítico rojo típico, obtuvieron como resultados que se redujo en un 30 % la fertilización nitrogenada recomendada para el tomate, permitió incrementar los indicadores de crecimiento y productividad del cultivo, además generó beneficios económicos al obtener un valor del incremento del rendimiento de 14,28 miles de pesos por hectáreas (Guevara,et.al, 2014).

Acción combinada de *Azospirillum* con *Rhizobium* y el hongo micorrízico arbuscular (HMA)

Se conoce que la mezcla de *Azospirillum* con otros microorganismos como *Rhizobium* y *Micorrizas* es aconsejable ya que el efecto primario de unos complementa el comportamiento de otros, influenciando sobre el incremento del desarrollo y crecimiento de las raíces (mayor área superficial, más pelos radicales, aumento de las secreciones o exudados), se amplía la posibilidad de colonizaciones sucesivas por mejores condiciones en una vía sinérgica, encaminándose la coinoculación a ser la vía más promisoría (Bashan, 1993).

La interacción de *Azospirillum* con *Rhizobium* ha sido una de las más estudiadas. Diferentes experimentos en campo e invernadero han mostrado que la inoculación simultánea de ambos microorganismos o la adición de *Azospirillum* a las leguminosas colonizadas naturalmente por *Rhizobium*, provoca un incremento en la fijación de N₂, mayor número de nódulos (Galal, 1997).

En investigaciones realizadas en la última década se ha comprobado que las asociaciones simbióticas que se establecen entre las plantas, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las bacterias del género *Rhizobium*, conjuntamente con otros microorganismos de la rizosfera como el *Azospirillum*, contribuyen a mejorar el estado nutricional y los rendimientos de las leguminosas forrajeras, además de conservar la fertilidad de los suelos (Toro, et.al, 2008).

Por otra parte, la inoculación mixta *Azospirillum*-hongo micorrízico arbuscular (HMA) y *Rhizobium* provoca incrementos significativos en el contenido de Carbono, Nitrógeno, Fósforo y materia seca en leguminosas respecto a las plantas inoculadas solamente con *Rhizobium* (Fernández, 2012).

Rabie, et.al (2005) y Tajini & Drevon (2012), plantean que los beneficios de la asociación tripartita *Azospirillum*-HMA-leguminosas, relacionados con el proceso de nodulación de las bacterias nitro fijadoras y el establecimiento de las micorrizas arbusculares, podrían ocurrir simultánea y sinérgicamente, de modo que mientras los hongos movilizan P y otros nutrientes desde el suelo, las bacterias abastecen N₂, no solo a la planta, sino también a los HMA.

También se constató relación directa entre la presencia en la rizosfera de *Azospirillum* - HMA y los rendimientos de algunos cultivos, en dependencia de su efectividad, no solo de la eficiencia de ambos microorganismos, sino también de la compatibilidad entre estos los hospederos (Castillo, et.al, 2008; y Sarabia, et.al, 2010).

Al parecer, los beneficios del efecto de la interacción de estos microorganismos, desempeñaron una función fundamental en el crecimiento y establecimiento de la leguminosa cultivada aprovechando mejor los nutrientes (Sarabia et.al, 2010).

Ramírez, et.al (2013), en estudios realizados sobre la coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus fasciculatum* (HMA) en plantas de Caupí, informaron incrementos significativos de la masa seca aérea en los tratamientos coinoculados, en comparación con aquellos no inoculados, atribuyendo estos resultados a la simbiosis efectiva entre ambos

Abril, et.al (2006), plantean que teniendo en cuenta las políticas actuales a nivel mundial para reducir la cantidad de fertilizantes químicos, la inoculación con *Azospirillum* ofrece perspectivas para una agricultura sustentable.

***Azospirillum* como agente de control biológico**

Son pocos los antecedentes que se conocen sobre la utilización de *Azospirillum* como agente de control biológico de fitopatógenos, sin embargo, existen algunos trabajos en la literatura que hacen pensar en el género *Azospirillum* como agente de control biológico, la mayoría de los estudios le dan atención al biocontrol o resistencia sistemática inducida contra hongos, bacterias, enfermedades virales, insectos y nemátodos (Antoun&Prévost, 2005).

En algunas investigaciones realizadas se observó, que la inoculación de algunas dicotiledóneas con *Azospirillum brasilense* evitó el desarrollo de cáncer, provocado por *Agrobacterium tumefaciens*. También se ha encontrado que algunas cepas de *Azospirillum brasilense* producen bacteriocinas que inhiben cepas de enterobacterias, estreptococos y algunas bacterias Gram (-) (Bakanchecova, 1993).

Igualmente se evidenció que una cepa de *Azospirillum lipoferum* producía sideróforos, que inhibían la actividad microbiana en algunas bacterias y hongos (Steenhoudt & Vanderleyden, 2000).

Se estudió la capacidad de biocontrol de *Azospirillum* sp. sobre *Fusarium moniliforme*, *Sclerotium rolfsii* y *Trichoderma* sp. mediante pruebas de antagonismo en condiciones in vitro entre los hongos fitopatógenos, hongo biocontrolador y la bacteria (Pernasetti, et.al, 2007).

Se efectuaron también pruebas de antagonismo en zanahoria (*Daucus carota* L.) para determinar la capacidad de biocontrol de *Azospirillum* spp. sobre el fitopatógeno *Fusarium* sp. y bioensayos con el objetivo de determinar la potencialidad biocontroladora de *Azospirillum brasilense* sobre el *Fusarium* sp. que ataca al nogal (*Juglans regia* L.) lo que fue demostrado bajo condiciones controladas de cultivo (Di Barbaro, et.al, 2006, 2007).

Conclusiones

En los últimos años se han realizado diversos estudios relacionados con las bacterias del género *Azospirillum*. Se puede apreciar que son muy volubles, capaces de establecer relaciones de simbiosis y mutualismo con las plantas. Son nutricionalmente variables, con efectos sobre la fijación de nitrógeno atmosférico, producción de fitohormonas, solubilización de minerales y nutrientes para las plantas. Influyen además, en el incremento del volumen de la raíz e inducen la resistencia a patógenos. Pueden servir como alimento a la micro y macro fauna siempre deficiente de nutrientes y son capaces de incrementar el rendimiento de cultivos agrícolas, en acción combinada con otros microorganismos como el *Rhizobium* y los HMA. Mejoran el estado nutricional y el crecimiento de cultivos de interés económico, además pueden ser utilizados como controladores biológicos, lo que demuestra las potencialidades para su uso en la agricultura.

Referencias bibliográficas

Abril, A., Biasutt, C., Maich, R., Dubbini, L. y Noe, L. (2006). Inoculación con *Azospirillum spp.* en la Región Semiárida-Central de Argentina: factores que afectan la colonización rizosférica. *ene./juL.*, 24(1).

Antoun, H. y Prévost, D. (2005). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. PGPR, Biocontrol and Biofertilization. (pp. 1–38).

Bakanchecova, T. I. (1993). Inhibición de los procesos de formación de tumores en plantas dicotiledóneas con la inoculación de *Azospirillum brasilense*. In *Microbiología* (Vol. 62, pp. 515–523).

de-Bashan, L.E., Holguin, G., Glick, B.R. and Bashan, Y. (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En Ferrera-Cerrato, R. y A. Capítulo 8., (Eds.) *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo.* (pp. 170-224). Ciudad Mexico, Mexico:

Bashan, Y. (1993). Isolation and characterization of PGPR. In *Methods in plant molecular biology and biotechnology*. (CRS Press., pp. 331 – 345).

Bouillant, M. (1997) /. Inhibition of *Striga* seed germination with *Sorghum* growth promotion by soil bacteria. *Sciences de la Vie*, vol. 320, no. 2, p. 159-162.

Caballero, J. (2010). Uso de *Azospirillum* en México como biofertilizante y potencial de nuevas especies bacterianas como biofertilizantes, agentes de biorremediación y biocontrol de fitopatógeno (p. 1). Presented at the XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.

Chamam A., Sanguin H., Bellvert F., Meiffren G., Comte G., Wisniewski-Dyé F.L., Bertrand C. y Prigent-Combaret C. (2013). Plant secondary metabolite profiling evidences strain-dependent effect in the *Azospirillum–Oryza sativa* association. *Phytochemistry*, 87, 65–77.

Cangahuala-Inocente G.C., do Amaral F.P., Faleiro A.C., Huergo L.F. y Arisi A.C. (2013). Identification of six differentially accumulated proteins of *Zea mays* seedlings (DKB240 variety) inoculated with *Azospirillum brasilense* strain FP2. *J. Soil Biol.*, 58, 45–50.

Cárdenas, D.M., Garrido, M. F., Bonilla R. (2010). Aislamiento e identificación de cepas de *Azospirillum sp.* en pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) del Valle del Cesar., 33(3), 15-19.

Castillo, C.G., Rubio, R., Urzúa, H. y Borie, F. (2008). Interacción *Rhizobium leguminosarum* bv. *Trifolii* y hongos micorrízicos en un Andisol con diferentes niveles de saturación de aluminio. (Vol. 26, p. 3-7).

Córdova, S., Cárdenas, R., Peña, J. J., Salgado, S., Castelán, M., Lobbit, C., Vera-Núñez, J. A. (2013). Fijación biológica de nitrógeno por

cuatrofabáceasensuelosácidosde Tabasco. *RevistadelaFacultaddeCiencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*, 44(1), 1–9.

Cuevas, F. Fuentes, O y Hernández, M. (1994). Establecimiento de *Azospirillum brasilense* en condiciones de suelos salinos dedicados al cultivo del arroz. *Seminario Científico del INCA, La Habana. 9 nov.*

DiBarbaroG.,SelemeF.,PernasettiS.,LucenaV.yStegmayerA. (2006).Capacidaddebiocontrolde*Azospirillum*spp.sobremicroorganismo fitopatógeno. Pruebasdeantagonismoenzanahoria(*Daucuscarota* L.). *HorticulturaArgentina. RevistadelaAsociaciónArgentinadeHorticultura.*, 25 (59), 53-56.

DiBarbaroG.,SelemeF.,PernasettiS.,LucenaV.yStegmayerA.y AtallánS.(2007).Capacidaddebiocontrolde*Azospirillumbrasilense*sobremicroorganismo fitopatógeno. Prueba de antagonismo. *Revista del Centro de EstudiodeRegionesSecas.FundaciónC.E.R.S.Tucumán-Catamarca.*, 21, 13–17.

Diaz M., Fernandez M.V. (2009). Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *Eur. J. Soil Biol*, 45, 3–1

Dibut B., Martínez R., Ortega M., Ríos Y. y Fey L. (2004). Presencia y uso de microorganismos endófitos en plantas como perspectiva para el mejoramiento de la producción vegetal. *Cultivos Tropicales*, 25 (2), 13–17.

Didonet, A. D. y Magalhaes, A. C. (1997). Growth and nitrite production by *Azospirillum* strains subjected to different levels of dissolved oxygen in the medium. *Soil BioL.Biochem*, 29 (11-12), 1743–1746.

Dobbelaere S, Croonenborghs A, Thys A, Ptacek D, Vanderleyden J, Dutto P, Labandera- Gonzalez C, Caballero-Mellado J, Francisco, Aguirre J, Kapulnik Y, Brener S, Burdman S, Kadouri D, Sarig,S, Okon Y. (2001). Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Aust J Plant Physiol*, 28, 871–879.

Döbereiner, J.yDay, J.M. (1976). Associative symbioses in Tropical grasses; Characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites Presented at the The First International Symposium on Nitrogen-Fixation, Washington State University. Vol. 2, pp. 518–538.

Domelen, A. (1998). Methylammonium transport in the nitrogen-fixing bacterium *Azospirillum brasilense*. *J. Bacteriol*, 180(10), 2652–2659.

Fernández, E. V. J. (2012). Respuesta de la simbiosis tripartita *Rhizobium-leguminosa* – HMA ante Vanadio y Níquel. (Tesis de Maestría.). Institución de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas., Montecillo, Texcoco, México. pp. 85

Galal, Y. G. M. (1997). Inoculación dual con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* para la mejora del crecimiento biológico y la fijación del nitrógeno de la soja (*Glycine max* L.). *BioL. FertiL. Soils*, 24(3), 317–32.

García, J. G., Moreno, R.V., Rodríguez, I. C., Herrera, A. y Mayek, N. (2006) Biofertilización con *Azospirillum brasilense* en sorgo, en el norte de México. *Agricultura Técnica en México.*, 32(2), 135–141.

Guevara, Y., Ruisánchez, Y., Adrian Hernández, A. y San Juan, A.N. (2013). Evaluación del biofertilizante Nitrofixen el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sobre un suelo ferralítico rojo típico. *ICIDCA sobre derivados de la caña de azúcar*, 47(2), 3–7.

Guevara, Y., Hernández, A., San Juan, A.N. y Gómez, E. (2014). NITROFIX: Alternativa para la agricultura orgánica y sostenible. *Agricultura Orgánica*, 20(2), 4-6.

Helman Y, Burdman S, Okon Y. (2011). Plant growth promotion by rhizosphere bacteria through direct effects. In *Beneficial Microorganisms in Multicellular Life Form* (pp. 89–103).

Hernández, T., Díaz, G. S. y Velazco, A. (2000). Comportamiento de dos variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) frente a la inoculación con *Azospirillum brasilense* como biofertilizante, *Cultivos Tropicales*, 23(3), 31–41.

Hungria M, Campo R.J., Souza E.M., Pedrosa F.A. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331, 413–425.

Pernasetti D.S., Di barbaro M.G. y Stegmayer A.R. (2007). Capacidad de biocontrol in vitro de *Azospirillum brasilense* sobre *Fusarium moniliforme*. *Revista del Centro de Investigaciones en Zonas Áridas y Semiáridas de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca.* Editorial Científica Universitaria. Catamarca. Argentina., 8(1 y 2), 31–38.

Plazinski, J. y Rolfe, B. G. (1985). La interacción de *Azospirillum-Rhizobium* estimula la formación de nódulos lo que favorece al crecimiento de la planta. *J. Microbiol*, 31, 1026–1030.

Rabie, G.H., Aboul-Nasr, M. B. y Al-Humiany, A. (2005). Increased salinity tolerance of cowpea plants by dual inoculation of an arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus clarum* and a nitrogen-fixer *Azospirillum brasilense*. In *Mycobiologia* (pp. 33–51).

Ramírez, J.G., Osorno, L., Osorio, N.W. y Morales, J.G. (2013). Alternativas Microbiológicas para mejorar el crecimiento del Caupí. *Rev. Fac. NaL. Agr. Medellín.*, 66(2), 7035–7044.

Ratti, N. y Janardhanan, K. K. (1996). Respuesta en el rendimiento del aceite de la Palmorosa (*Cymbopogon martinii* var. motia) con la inoculación dual de VAM y *Azospirillum*. *Rev. Microbiol.*, 151(3), 325–328.

Rodríguez, J., Suárez, R., Caballero, J. e Iturriaga, G. (2009). Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass

in maize plants). Federation of European Microbiological Societies FEMS Microbiol.(No. 296) (pp. 52–59)

Romero, A.M., Correa, O.S., Moccia, S., y Rivas, J.G. (2003). Effect of *azospirillum* mediated plant growth promotion on the development of bacterial diseases on fresh-market and cherry tomato. *J. Appl. Microbiol.* 95: 832-838.

Rueda E. O., Barrón-Hoyos J. M. Jojanes H. (2009). *Bacterias Promotoras DelCrecimiento Vegetal*. México: Editorial Plaza y Valdes. (pp. 10-15)

Sarabia, M., Madrigal, R, Martínez, M y Carreón, Y. (2010). Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja redde interacciones. *Biológicas*, 12, 65–75.

Steenhoudt, O. y Vanderleyden, J. (2000). *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiol. Rev*, 24, 487–506.

Tajini, F. y Drevon, J.J. (2012). Effect of arbuscular mycorrhizason P use efficiency for growth and N₂ fixation in commonbean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Sci. Res. Essays*, 7, 1681–1683.

Tarrand, J. J., Krieg, N. R. y Dobereiner, J. A. (1978). *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *Can. J. Microbiol*, 4, 967–980.

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(1), 17- 22.

Toro, M., Bazó, I. y López, M. (2008). Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizante nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*, 56(3), 215–221.

Uribe G. y Dzib, R. (2006). Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y *Brassinosteroide* en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agric. Téc México ene./abr*, 32(1), 9.

Velazco, A. (2001). Utilización de *Azospirillum brasilense* en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) sobre un suelo Hidromórfico Gley de la provincia de Pinar del Río. (Tesis de doctorado). Universidad de La Habana., Ciudad de la Habana, pp.120.

Veresoglou SD, Menexes G. (2010). Impact of inoculation with *Azospirillum spp.* on growth properties and seed yield of wheat. *Plant Soil*, 337, 469–80.

Vital, L. y Mendoza A. (2014). *Azospirillum*: habitante de la gramíneas. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana*, Mayo-Agosto 27(2), 4.

Woodard, H. J. y Bly, A. (2000). Maize growth and yield responses to seedinoculated N₂- fixing bacteria under dryland production conditions., *Journal of Plant Nutrition*, 23(1), 55–65.

Yaacov, O. y Labandera, C. (1994). Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 year-worldwide fieldinoculation., *Soil BioL. Biochem*, 26(12), 1591–1600.

Recibido: 24/02/2015
Aprobado: 30/05/2015