

APLICACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS EN LA AGRICULTURA

Application of microbial consortia in agriculture

Betsie Martínez Cano¹, Genaro Martín Soto Zarazúa¹

Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
betsiemtz@gmail.com

RESUMEN

La agricultura se enfrenta a varios problemas que deben ser atendidos, tales como la falta de fijación de nutrientes, la mala calidad y la enfermedad de los cultivos, ya que afectan de manera directa su rendimiento. Por este conflicto agrícola se han desarrollado diferentes métodos para solucionarlos. Uno de estos son los consorcios microbianos que se pueden entender como la combinación de microorganismos benéficos, algunos de ellos son: fitoestimulantes, biofertilizantes y agentes de biocontrol. La importancia de la combinación de estos microorganismos radica en que se puede aprovechar la suma de las acciones de cada uno de estos para dar como resultado un aumento en el rendimiento y calidad de los cultivos, tomando en cuenta factores como el comensalismo, la competencia, la depredación, la falta de interacción, la cooperación y el amensalismo.

Palabras clave

Consortios microbianos, fijadores de nitrógeno, promotores de crecimiento, antipatogénicos

ABSTRACT

Agriculture has several problems that need to be solved, such as the lack of nutrient fixation, poor quality and diseases of crops because they affect directly their yield. Therefore, different methods have been developed to solve them, including microbial consortia. The combination of beneficial microorganisms such as phytoestrogens, biofertilizers and biocontrol agents can be defined as a microbial consortium. The importance of the combination of these microorganisms is that, adding their actions results in an increase of the yield and quality of the crops taking into consideration factors such as commensalism, competition, predation, lack of interaction, cooperation and amensalism.

Keywords

Microbial consortium, nitrogen fixers, growth promoters, antipathogens

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura se enfrenta al reto de producir una mayor cantidad de alimentos para satisfacer la creciente demanda de la población, minimizando el costo de mano de obra (FAO, 2009). Es por ello que el uso de nuevas tecnologías, en este sector, se está enfocando en una explotación racional de los recursos naturales, aplicando medidas para la preservación del medioambiente (Grageda *et al.*, 2012).

Para contrarrestar el efecto de la rápida pérdida de la calidad ambiental a la que se enfrenta, se han propuesto diferentes estrategias. Una de ellas es la llamada agricultura sustentable (Creus, 2017) que tiene como objetivo lograr un alto rendimiento por unidad de superficie y satisfacer la demanda creciente de alimentos (Grageda *et al.*, 2012), por medio de la disminución del uso de productos químicos y el aumento, en su lugar, de recursos biológicos (Creus, 2017), como son los consorcios microbianos. Estos son una combinación de microorganismos benéficos: fitoestimulantes, biofertilizantes y agentes de biocontrol utilizados en las prácticas agrícolas (Sharma *et al.*, 2017). Los microorganismos y su actividad determinan la disponibilidad de nutrientes e influyen significativamente en la salud y productividad de las plantas (Jeffries *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2015). Sin embargo, la compatibilidad entre diferentes cepas necesita ser cuidadosamente determinada (Roberts, 2005).

INGENIERÍA DE LA RIZOSFERA

Los consorcios microbianos en la rizosfera benefician el crecimiento vegetal por el aumento de absorción de nitrógeno y fósforo, lo cual se traduce en un incremento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y se refleja en la biomasa y la supervivencia de las plantas (Matías *et al.*, 2009). Además se ve expresado en la potenciación de los efectos supresores de enfermedad y en la estimulación del crecimiento vegetal (Cano, 2011). Dentro de los mecanismos que



presentan los consorcios microbianos se pueden encontrar los promotores de crecimiento, fijadores de nitrógeno y antipatogénicos.

Ingeniería de la rizosfera a través de comunidades microbianas rizosféricas sintéticas

La bioingeniería de comunidades microbianas sintéticas enfocada en la promoción del crecimiento vegetal, la fijación del nitrógeno y la resistencia a enfermedades representa un desafío significativo, ya que se deben tener en cuenta diversos factores, tales como el comensalismo, la competencia, la depredación, la falta de interacción, la cooperación y el amensalismo (Ahkami et al., 2017). Además, se minimizan el parasitismo y la competencia, mientras se maximizan los efectos benéficos y la cooperación entre los microorganismos (Foster y Bell, 2012).

Promotores de crecimiento

Los microorganismos promotores de crecimiento de las plantas (PGPR) son rizobacterias capaces de colonizar las raíces de los cultivos y aumentar su crecimiento mediante diferentes mecanismos (Prasad y Babu, 2016), ya sea por fijación biológica del nitrógeno, producción de metabolitos en la planta y solubilización del fósforo (Criollo, 2012), así como por un aumento en la tasa de fotosíntesis (Zhang et al., 1996). Ante ello las interacciones benéficas planta-microorganismo en la rizosfera son determinantes para la salud de la planta y la fertilidad del suelo (Hamza et al., 1994; Glick, 1995; Hegazi y Fayes, 2003; Jeffries et al., 2003) y satisfacen la necesidad de reducir el aporte de nitrógeno para lograr una mayor eficiencia en la producción de cultivos (Dal Cortivo et al., 2017), ya que ofrecen una alternativa para reemplazar los fertilizantes químicos y suplementos (Prasad y Babu, 2016). Algunos de los microorganismos estudiados por sus cualidades para promover el crecimiento de las plantas son los del género *Pseudomonas* que han sido utilizados para mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Mohamed y Gomaa, 2012; Pi-

romyou et al., 2011), así como de *Brevibacillus*, el cual aumenta el crecimiento y biomasa de las plantas (Piromyou et al., 2011), y de *Paenibacillus* que es capaz de estimular los mecanismos de defensa de la planta, a través del lipopolipéptido paenimixina, y funciona como elicitador y antibacteriano (Selim et al., 2005).

Fijadores de nitrógeno

La fijación del nitrógeno es el proceso donde las bacterias de la rizosfera captan el gas nitrógeno (N_2), que está presente en la atmósfera, y lo convierten en amoníaco para las plantas (Tortora, 2007). Todos los microorganismos fijadores de nitrógeno poseen la enzima nitrogenasa que es la encargada de llevar a cabo esta reacción (Betancourt et al., 2008). La cantidad de nitrógeno fijado depende de la planta, el tipo de bacterias, el nitrógeno disponible en el suelo, el manejo del cultivo, el contenido de agua del suelo y sus propiedades químicas (Sainju, 2017). Entre las bacterias que han sido utilizadas como fijadoras de nitrógeno se encuentran *Rhizobium* que aumenta la nodulación y la producción en biomasa (Hannan et al., 2013), *Azotobacter*, en la cual se observa actividad hormonal y producción de enzimas que incrementan el crecimiento de las plantas (Abdel-Azies et al., 2014), *Burkholderia* que tiene la capacidad de fijar nitrógeno, promueve el crecimiento por su producción de elicitors y es utilizada en el biocontrol para algunos fitoparásitos (Bolívar et al., 2016), *Azospirillum* cuya inoculación aumenta el porcentaje de rendimiento en peso seco de los cultivos (Bilal et al., 2017), *cyanobacterias* que confieren propiedades químicas y mejoran el suelo de baja calidad (Kheirfam et al., 2017), *Rhodopseudomonas* y *Rhodobacter* las cuales fijan nitrógeno atmosférico y reducen la contaminación por metales en el suelo (Sakpirom et al., 2017), y actinomicetos que se presentan como fijadores de nitrógeno. No obstante, también se utilizan patógenos para el ser humano, como *Streptomyces* (Tamreihao et al., 2016; Dahal et al., 2017).

Antipatogénicos

Un antipatogénico es aquel microorganismo que interactúa antagónicamente con otro microorganismo y causa algún daño o enfermedad a la planta (Creus, 2017). La mayoría de los productos utilizados para el control biológico de patógenos de las plantas está elaborado a partir de bacterias, hongos, virus o nematodos y es agregado a un agroecosistema para limitar las enfermedades de las plantas (Lazarovits et al., 2014). El uso de estos productos es una alternativa para dar solución a la aparición de enfermedades fúngicas o bacterianas que atacan a las plantas y disminuyen los rendimientos agrícolas (Rojas et al., 2012). Actualmente se han utilizado bacterias como *Bacillus*, potente antagonista de *Fusarium tricinctum*, ya que forma una biopelícula en las raíces del cultivo para así protegerlas de infecciones (Zhang et al., 2014; Shen et al., 2015; Mansoori et al., 2013), *Enterobacter* (Abbas et al., 2014), *Burkholderia* utilizada para suprimir a *R. solani* en cultivos de algodón (Zaki et al., 1998) y *Pseudomonas* que protegen a los cultivos ante ciertos patógenos, disminuyendo el daño por la enfermedad (Byrne et al., 2005; Erdogan y Benlioglu, 2010; Mansoori et al., 2013). De la misma manera, actinomicetos y hongos como *Streptomyces* muestran un fuerte antagonismo hacia fitopatógenos fúngicos (Yuan y Crawford, 1995) y *Trichoderma*, posicionándose así como un agente eficaz de control biológico contra las enfermedades de ciertos cultivos (Hanson et al., 2000; Howell et al., 2012; Bae et al., 2016), respectivamente, para funciones antipatogénicas.

PRODUCTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE LOS MECANISMOS DEL CONSORCIO MICROBIANO

Los consorcios microbianos están constituidos por la existencia de sinergia entre los microorganismos, la cual se entiende como las conexiones entre las acciones y puede ser influenciada cuando acciones procedentes de causas distintas se

refuerzan para provocar un resultado diferente (Gómez, 2013). En los ecosistemas naturales, la sinergia tiene un papel clave ya que influye en la productividad de las plantas, su nutrición y provee una mejor inhibición de los patógenos (Abd-Alla et al., 2014).

Actualmente en el área de la agricultura se han realizado varios estudios sobre la sinergia entre microorganismos, como el realizado por Ali et al. (2005) donde revisan la sinergia entre *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter* y *Pseudomonas* y se muestran rendimientos más altos en comparación con los fertilizantes químicos. Al respecto, la sinergia entre *Azotobacter* y hongos micorrízicos mejoran la altura de las plantas, así como el número y peso de los frutos (Paul et al., 2011). Por otra parte, *Azotobacter* y *Bacillus*, en referencia a la sinergia, mejoran el crecimiento y rendimiento de cultivos, al hacer una aplicación reducida de fertilizantes químicos (Yasmin et al., 2013). Hanan et al. (2013) comprueban la sinergia entre *Rhizobium* y *Trichoderma* y demuestran que se puede generar una mayor producción del cultivo, así como un aumento en el soporte de las plantas. Mientras que, a partir de la convivencia sinérgica entre *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter* y *Pseudomonas*, se obtiene una recuperación significativa del nitrógeno fijado biológicamente, así como una menor incidencia de patógenos, lo cual se ve reflejado en la productividad (Abbas et al., 2014). Además, *Azospirillum* y *Azotobacter* en sinergia han arrojado resultados benéficos como es el crecimiento de las plantas cuando se agrega nitrógeno inorgánico (Bilal et al., 2017). El consorcio de bacterias *Azospirillum*, *Azoarcus* y *Azorhizobium* mejora el crecimiento de raíces, aumenta la resistencia a la tensión ambiental y disminuye la pérdida de nitrógeno en el ecosistema agrícola (Dal Cortivo et al., 2017).

CONCLUSIONES

Para aminorar los problemas del sector agrícola de la actualidad es importante conocer el tipo de



microorganismos que favorecen la interacción sinérgica entre los mismos. Los microorganismos óptimos son aquellos que tienen la capacidad de fijar nitrógeno, los que hacen que la planta libere promotores de crecimiento y aquellos que ejercen antagonismo ante los fitopatógenos. Esta interacción entre diferentes microorganismos puede ser explorada aún más para lograr una adecuada fertilización del suelo y mejorar el rendimiento y calidad de los cultivos.

REFERENCIAS

- ABBAS, M., Hamza, M., Youssef, H., Youssef, G., Fayez, M., Monib, M. y Hegazi, N. (2014). *Bio-preparates support the productivity of potato plants grown under desert farming conditions of north Sinai: Five years of field trials. Journal of Advanced Research. Vol. 5*, pp. 41-48.
- ABD-ALLA, M. H., El-Enany, A. W. E., Nafady, N. A., Khalaf, D. M. y Morsy, F. M. (2014). Synergistic interaction of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* and arbuscular mycorrhizal fungi as a plant growth promoting biofertilizers for faba bean (*Vicia faba* L.) in alkaline soil. *Microbiological research. Vol. 169*(1), pp. 49-58.
- ABDEL-AZIES, S., Eweda, W., Girgis, M. y Abdel, B. (2014). *Improving the productivity and quality of black cumin (Nigella sativa) by using Azotobacter as N2 biofertilizer. Annals of Agricultural Science. Vol. 59*(1), pp. 95-108.
- AHKAMI, A., White, R. A., Handakumbura, P. P. y Jansson, C. (2017). *Rhizosphere engineering: Enhancing sustainable plant ecosystem productivity. Rhizosphere. Vol. 3*.
- ALI, S. M., Hamza, M. A., Amin, G., Fayez, M., El-Tahan, M., Monib, M. y Hegazi, N. A. (2005). *Production of biofertilizers using baker's yeast effluent and their application to wheat and barley grown in north Sinai deserts. Archives of Agronomy and Soil Science. Vol. 51*(6), pp. 589-604.
- BAE, S., Mohanta, T., Chung, J., Ryu, M., Park, G., Shim, S., Hong, S., Seo, H., Bae, D., Bae, I., Kim, J. y Bae, H. (2016). *Trichoderma metabolites as biological control agents against Phytophthora pathogens. Biological Control. Vol. 92*, pp. 128-138
- BETANCOURT, D. A., Loveless, T. M., Brown, J. W. y Bishop, P. E. (2008). *Characterization of Diazotrophs Containing Mo-Independent Nitrogenase, Isolated from Diverse Natural Environments. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 74*, pp. 3471-3480.
- BILAL, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M. y NADEEM, M. (2017). Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Vol. 16*, pp. 236-241.
- BOLÍVAR, H., Contreras, M. y Teherán, L. (2016). *Burkholderia tropica una bacteria con gran potencial para su uso en la agricultura. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. Vol. 19*(2), pp. 102-108.
- BYRNE, J., Dianese, A., Ji, P., Campbell, H., Cuppels, D., Louws, F., Miller, S., Jones, J. y Wilson, M. (2005). Biological control of bacterial spot of tomato under field conditions at several locations in North America. *Biological Control. Vol. 32*(3), pp. 408-418.
- CANO, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. *Una revisión. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica. Vol. 14*(2), pp. 15-31.

- CREUS, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología*. Vol. 49(3), pp. 207-209.
- CRIOLLO, P.J., Obando, M., Sánchez, L. y Bonilla, R. (2012). Effect of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) associated to *Pennisetum clandestinum* in the altiplano cundiboyacense. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. Vol. 13(2), pp. 189-195.
- DAHAL, B., NandaKafle, G., Perkins, L. y Brözel, V. (2017). Diversity of free-living nitrogen fixing *Streptomyces* in soils of the badlands of South Dakota. *Microbiological Research*. Vol. 195, pp. 31-39
- DAL CORTIVO, C., Barion, G., Visioli, G., Marrarozzi, M., Mosca, G. y Vamerali, T. (2017). Increased root growth and nitrogen accumulation in common wheat following PGPR inoculation: Assessment of plant-microbe interactions by ESEM. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 247, pp. 396-408.
- ERDOGAN O. y Benlioglu K. (2010). *Biological control of Verticillium wilt on cotton by the use of fluorescent Pseudomonas spp. under field conditions*. *Biological Control*. Vol. 53(1), pp. 39-45.
- FAO. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Cómo alimentar al mundo en 2050. Foro de Expertos de Alto Nivel.
- FOSTER, K. R. y Bell, T. (2012). *Competition, not cooperation, dominates interactions among culturable microbial species*. *Current Biology*. Vol. 22, pp. 1845-1850.
- GLICK, B.R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*. Vol. 41, pp. 109-17.
- GÓMEZ, D. y Gómez, M. T. (2013). Evaluación de Impacto Ambiental. Mundi-Prensa Libros.
- GRAGEDA, O. A., Díaz, A., Peña, J. J. y Vera, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. Vol. 3(6), pp. 1261-1274.
- HAMZA, M.A., Youssef, H., Helmy, A., Amin, G. A., Fayez, M., Higazy, A., El-Khawas, H. M., Monib, M., Sedik, M. Z. y Hegazi, N. A. (1994). Mixed cultivation and inoculation of various genera of associative diazotrophs. The Sixth International Symposium on Nitrogen Fixation with Non-Legumes. Ismailia, Egypt: The American University in Cairo Press, pp. 319-326.
- HANNAN A., Hasan M. y Hossain I. (2013). Impact of Dual Inoculations with *Rhizobium* and *Trichoderma* on Root Rot disease and Plant Growth Parameters of Grasspea under Field Conditions. *Persian Gulf Crop Protection*. Vol. 2(1), pp. 1-9
- HANSON, L. (2000). Reduction of Verticillium Wilt Symptoms in Cotton Following Seed Treatment with *Trichoderma virens*. *The Journal of Cotton Science*. Vol. 4, pp. 224-231.
- HEGAZI, N. A. y FAYEZ, M. (2003). Biodiversity and endophytic nature of diazotrophs other than rhizobia associated to non-leguminous plants of semi-arid environments. *Archives of Agronomy Soil Science*. Vol. 49, pp. 213-35.
- HOWELL, C. (2002). Cotton Seedling Pree-mergence Damping-Off Incited by *Rhizopus oryzae* and *Pythium* spp. and Its Biological Control with *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. Vol. 92(2), pp. 177-180.
- JEFFRIES, S., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K. y Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 37, pp. 1-16.
- KHEIRFAM, H., Hamidreza, S., Homaei, M. y Zarei, B. (2017). Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial



- enrichment. *Soil and Tillage Research*. Vol. 165, pp. 230-238.
- LAZAROVITS, G., Turnbull, A. y Johnston-Monje, D. (2014). Plant Health Management: Biological Control of Plant Pathogens. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Vol. 4, pp. 388-389.
- MANSOORI, M., Heydari, A., Hassanzadeh, N., Rezaee, S. y Naraghi, L. (2013). Evaluation of *Pseudomonas* and *Bacillus* antagonists for biological control of cotton verticillium wilt disease. *Journal of Plant Protection Research*. Vol. 53(2), pp. 154-157.
- MATÍAS, S. R., Pagano, M. C., Muzzi, F. C., Oliveira, C. A., Carneiro, A. A., Horta, S. N. y Scotti, M. R. (2009). Effect of rhizobia, mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants used to recover an iron ore area in Brazil. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 45(3), pp. 259-266.
- MOHAMED, H. I. y Gomaa, E. Z. (2012). Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress. *Photosynthetica*. Vol. 50, pp. 1-10.
- PAUL, S., Rathi, M. y Tygai, S. P. (2011). Interactive effect with AM fungi and Azotobacter inoculated seed on germination, plant growth and yield in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 81(11), pp. 1041-1045.
- PIROMYOU, P., Buranabanyat, B., Tantasawat, P., Tittabutr, P., Boonkerd, N. y Teaumroong, N. (2011). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 47, pp. 44-54.
- PRASAD, A. A. y Babu, S. (2016). Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Vol. 89(2), pp. 1027-1040.
- ROBERTS, D. P., Lohrke, S. M., Meyer, S. L., Buyer, J. S., Bowers, J. H., Baker, C. J., Li W., de Souza J., Lewis J. y Chung, S. (2005). Biocontrol agents applied individually and in combination for suppression of soilborne diseases of cucumber. *Crop Protection*. Vol. 24(2), pp. 141-155.
- ROJAS, M., Tejera, B. y Heydrich, M. (2012). Antagonismo de *Bacillus* spp. frente a hongos fitopatógenos del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista de Protección Vegetal*. Vol. 27(2).
- SAKPIROM, J., Kantachote, D., Nunkaew, T. y Khan, E. (2017). Characterizations of purple non-sulfur bacteria isolated from paddy fields, and identification of strains with potential for plant growth-promotion, greenhouse gas mitigation and heavy metal bioremediation. *Research in Microbiology*. Vol. 168, pp. 266-275.
- SELIM, S., Negrel, J., Govaerts, C., Gianinazzi, S. y van Tuinen, D. (2005). Isolation and partial characterization of antagonistic peptides produced by *Paenibacillus* sp. strain B2 isolated from the sorghum mycorrhizosphere. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 71, pp. 6501-6507.
- SHARMA, R., Paliwal, J. S., Chopra, P., Dogra, D., Pooniya, V., Bisaria, V. S., Swarnalakhmi, K. y Sharma, S. (2017). Survival, efficacy and rhizospheric effects of bacterial inoculants on *Cajanus cajan*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 240, pp. 244-252.
- SHEN, Z., Ruan, Y., Wang, B., Zhong, S., Su, L., Li, R. y Shen, Q. (2015). Effect of bio-fertilizer for suppressing *Fusarium* wilt disease of banana as well as enhancing

- microbial and chemical properties of soil under greenhouse trial. *Applied Soil Ecology*. Vol. 93, pp. 111-119.
- SINGH, S., Singh, B. y Singh, A. P. (2015). Nematodes: a Threat to Sustainability of Agriculture. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 29, pp. 215-216.
- TAMREIHAO, K., Ningthoujam, D., Nimaichand, S., Shanta, E., Reena, P., Herojeet, S. y Nongthomna U. (2016). Biocontrol and plant growth promoting activities of a *Streptomyces corchorusii* strain UCR3-16 and preparation of powder formulation for application as biofertilizer agents for rice plant. *Microbiological Research*. Vol. 192, pp. 260-270
- TORTORA, G., Berdell, R., Funke, B. y Case, C. (2007). Introducción a la microbiología. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.
- SAINJU, U. M. (2017). Determination of nitrogen balance in agroecosystems. *MethodsX*, 199-208.
- YASMIN, S., Hafeez F., Schmid M. y Hartmann A. (2013). *Plant-beneficial rhizobacteria for sustainable increased yield of cotton with reduced level of chemical fertilizer*. *Pakistan Journal of Botany*. Vol. 45(2), pp. 655-662.
- YUAN, W. y Crawford, D. (1995). Characterization of *Streptomyces lydicus* WYEC108 as a potential biocontrol agent against fungal root and seed rots. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 61(8), pp. 3119-3128.
- ZAKI, K., Misaghi I. y Heydari A. (1998). Control of cotton seedling damping-off in the field by *Burkholderia* (*Pseudomonas*) *cepacia*. *Plant Disease*. Vol. 82, pp. 291-293.
- ZHANG, Q., Zhang, J., Yang, L., Zhang, L., Jiang, D., Chen, W. y Li, G. (2014). *Diversity and biocontrol potential of endophytic fungi in Brassica napus*. *Biological Control*. Vol. 72, pp. 98-108.