

Perspectivas del uso de bacterias rizosféricas en el control de *Pyricularia grisea* (Cooke Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.)

Prospect of the use of bacteria in the control *Pyricularia grisea* (Cooke Sacc.) on rice (*Oryza sativa* L.)

Yanelis Acebo Guerrero*, Annia Hernández-Rodríguez**, Narovis Rives Rodríguez***, Miguel Gerardo Velázquez del Valle****, Ana Niurka Hernández-Lauzardo****

Resumen

El arroz es fuente de alimento para una gran parte de la población mundial, con alto promedio de consumo anual. En este cultivo las enfermedades de origen microbiano constituyen uno de los factores que inciden en la obtención de bajos rendimientos y calidad de los granos. La piriculariosis o añublo del arroz, causada por *Pyricularia grisea*, es la enfermedad más importante en este cultivo en América Latina, ya que puede provocar hasta el 100% de reducción de los rendimientos. Como parte de la estrategia de agricultura sostenible, se trata de controlar estos patógenos y lograr altos rendimientos del cultivo mediante una combinación adecuada de fertilizantes químicos y productos biológicos. En este sentido, la aplicación de inoculantes bacterianos constituidos por bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Plant Growth-Promoting Bacteria, PGPB, por sus siglas en inglés) ha constituido una alternativa ecológica que favorece la conservación del medioambiente y el ecosistema. Este trabajo tiene como objetivo abordar el estado actual y las perspectivas de uso de bacterias rizosféricas en el control de *Pyricularia grisea* en el cultivo del arroz, tratando algunos temas relevantes, como son las principales enfermedades que afectan al cultivo, los géneros de PGPB más utilizados para el control de las mismas y sus principales mecanismos de acción.

Palabras clave: bacterias rizosféricas, arroz, piriculariosis.

Abstract

Rice is an important food supply for a large part of the world population and its consumption rates are very high. Microbial diseases are one of the main causes that provoke low yields and low-quality spotted grains. Although fungi, bacteria and viruses are mostly the responsible for these losses, fungal diseases strike more frequently. Among fungi, *Pyricularia grisea*, the blast fungus is responsible for up to 100% of reduction in yields, being the blast the most important rice disease in Latin America. To control this pathogen, a strategy of sustainable agriculture might be developed, combining accurately chemical and biological products. PGPB based bioproducts have been considered as an eco-friendly alternative, which favours environment preservation. This work was aimed to approach the current status and outlook of the use of rhizobacteria in the biocontrol of *Pyricularia grisea* on rice. Main diseases attacking rice, most beneficial PGPB and its mechanisms of action will be discussed too in this review.

Key words: Plant growth promoting bacteria, rice, biological control, blast fungus.

Recibido: octubre 5 de 2010

Aprobado: mayo 19 de 2011

* Instructora, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

** Profesora-Investigadora, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

*** Investigadora, Instituto de Investigaciones del Arroz, La Habana, Cuba.

**** Profesores-Investigadores del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, Morelos, México. anhernandez@ipn.mx

Introducción

El arroz es cultivado por el hombre desde hace más de 7000 años. Dentro del género *Oryza*, oriundo del continente asiático, se encuentran aproximadamente 19 especies, siendo *Oryza sativa* L. la más importante para la alimentación humana. Su producción, distribución y consumo están ampliamente extendidas en el mundo, en Cuba el consumo de arroz per cápita asciende anualmente a 60 kg (Minagri, 2006). El arroz constituye parte de la dieta básica en algunos países, debido a su valor nutricional, ya que contiene cantidades apreciables de fósforo, hierro, sodio, vitamina B1 (tiamina), vitamina B2 (riboflavina) y niacina (ácido nicotínico). Es notable destacar que no solo está dirigido al consumo humano como alimento, sino que también se utiliza como materia prima para la elaboración de alcohol, glucosa, ácido acético, acetona, aceite, productos farmacéuticos, combustibles, abonos y alimentos de consumo animal (Arregocés et al., 2005).

En el cultivo del arroz las enfermedades de origen microbiano constituyen uno de los factores que inciden en la obtención de bajos rendimientos y manchado de los granos. Estas enfermedades pueden ser provocadas por diversos microorganismos como hongos (Ebbole, 2008), bacterias (Ali et al., 2009) y virus (Xiao et al., 2010), siendo las de origen fúngico las más frecuentes en el cultivo. Algunas especies bacterianas de los géneros *Xanthomonas* y *Acidovorax* han sido señaladas como patógenos de importancia económica (Yu et al., 2008; Ali et al., 2009). Dentro de las principales enfermedades que causan los daños más severos en el arroz resalta la pirculariosis, también conocida como añublo o quemazón, causada por el hongo *Magnaporthe grisea* (teleomorfo, *Pyricularia grisea* (Sacc.), anamorfo, sin. *Pyricularia oryzae*) (Ebbole, 2008).

Por la importancia que tiene la producción de alimentos a nivel mundial para satisfacer las necesidades de una población en crecimiento acelerado, es importante la acción conjunta de agricultores e investigadores para buscar alternativas que beneficien el desarrollo del cultivo y su productividad, sin afectar el medioambiente. La aplicación de inoculantes microbianos a base de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB, Plant Growth Promoting Bacteria, por sus siglas en inglés), podría constituir una de estas alternativas, por sus efectos beneficiosos para las plantas y los ecosistemas (Welbaum et al., 2004; Hernández-Rodríguez et al., 2008).

Estas bacterias están asociadas a especies de plantas presentes en la mayoría de los ambientes naturales (Compant et al., 2008), y se encuentran ampliamente representadas por diversos géneros microbianos. Es-

tas pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes, transformarlos a formas asimilables por la planta, producir sustancias promotoras del crecimiento o servir como agentes de control biológico en cultivos de importancia económica (Hernández-Rodríguez et al., 2005). Las rizobacterias se destacan por su eficacia en el control biológico de patógenos fúngicos, lo que se pone de manifiesto a través de diferentes mecanismos de acción, tales como la antibiosis, la producción de sideróforos y la inducción de resistencia a la planta (Velusamy et al., 2006; Trujillo et al., 2007).

Este trabajo tiene como objetivo abordar el estado actual y las perspectivas de uso de bacterias rizosféricas en el control de *Pyricularia grisea* en el cultivo del arroz.

Importancia de la pirculariosis en el cultivo del arroz

La pirculariosis o añublo del arroz, causada por *P. grisea*, es una de las enfermedades más importantes en este cultivo por su amplia distribución mundial, poder destructivo y alto grado de patogenicidad (Thuan et al., 2006; Rodríguez et al., 2007). Puede provocar severas reducciones de los rendimientos dependiendo del grado de susceptibilidad de la variedad, la tecnología de cultivo empleada (se ha observado mayor severidad de la enfermedad en arroz secano) y de la incidencia durante el ciclo vegetativo de factores climáticos y nutricionales favorables al desarrollo de la enfermedad (Thuan et al., 2006; Cárdenas et al., 2010).

Las variedades resistentes y el manejo de las épocas de siembra ayudan a reducir su intensidad y propagación. Sin embargo, cuando las condiciones ambientales son favorables y se aplican elevadas dosis de fertilización nitrogenada su severidad se incrementa, se pueden producir pérdidas superiores al 70% del rendimiento agrícola, y muchos de los granos cosechados pierden calidad (Pinciroli et al., 2006).

Las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad están dadas por temperaturas de 22-29 °C, y humedad relativa superior al 90%, las que coinciden plenamente con las condiciones climáticas de los países tropicales (Rodríguez et al., 2007; Cárdenas et al., 2010). Investigaciones recientes evidencian que la humedad relativa y la temperatura influyen en la infección y la liberación de esporas de *Pyricularia oryzae* (Castrejón-Muñoz, 2008).

El hongo afecta todas las partes aéreas de la planta: hojas, panículas, nudos, tallos y granos. Se manifiesta con manchas elípticas a romboides. Su tamaño y color

varían de acuerdo con las condiciones ambientales y con la susceptibilidad de las variedades (Cárdenas *et al.*, 2005). Sobre variedades medianamente resistentes la mancha se puede presentar de forma alargada y con extremos aguzados, alcanzando las formas más redondeadas cuando llega a desarrollarse. Las manchas típicas presentan el centro en forma redondeada, de color blanquecino grisáceo, con bordes café y a veces rodeadas por un halo amarillento. En los tallos y nudos se presentan manchas alargadas de color pardo oscuro que cubren las hojas afectadas. El ataque más frecuente ocurre en la base de la panícula y ocasiona una sintomatología bien definida que se conoce como “cuello roto”. En las espigas y sobre los granos se pueden apreciar manchas pequeñas, similares a cabezas de alfiler de color café; si el ataque ocurre en la fase de plántulas o de macollamiento, las plantas quedan totalmente destruidas.

Este patógeno puede permanecer en los residuos de cosecha, en la semilla y en las plantas hospederas. En los de cosecha es probable encontrar inóculo del patógeno hasta después de dos años de ser eliminadas las plantas. La enfermedad se presenta generalmente a partir de los 35 días de la siembra, incidiendo durante la fenofase de ahijamiento activo, tiende a disminuir en la fase de cambio de primordio y nuevamente incide en la paniculación (Minagri, 2006). Las dosis de nitrógeno y el momento de aplicación influyen en la ocurrencia y severidad del añublo, así como en el tipo y tamaño de la lesión (Pinciroli *et al.*, 2006).

Métodos de control de *Pyricularia grisea*

Los principales aspectos que se deben considerar para evitar los daños de la enfermedad están relacionados con el uso de variedades resistentes o tolerantes, densidad de siembra adecuada (no superior a 150 o 200 plantas m²), dosis correctas de fertilizante nitrogenado y aplicación de potasio según los requerimientos nutricionales. También es importante tener en cuenta el manejo del agua, basado en aumentar la lámina de agua cuando hay incidencia de la enfermedad, y tratamiento químico y biológico a la semilla mediante la incorporación de restos de vegetales al suelo y el uso de los fungicidas específicos.

En la actualidad, las soluciones biotecnológicas para el control de esta enfermedad constituyen una opción prometedora y con amplio potencial de aplicación. Entre estas se incluyen la introducción de genes de resistencia de amplio espectro en cultivares comerciales de arroz, y la utilización de genes que aumenten la eficiencia y rapidez de la señalización de las defensas en la planta (Wilson y Talbot, 2009), aunque estas solu-

ciones requieren de validación en pruebas de campo. Sin embargo, muchas veces estos métodos resultan ineficientes, por lo que el tratamiento de las semillas con fungicidas químicos es de uso corriente.

Una desventaja de los fungicidas químicos es que ocasionan contaminación del manto freático y de los cuerpos de agua colindantes (Padovani *et al.*, 2006) generando efectos nocivos sobre diversos organismos, los que han sido informados desde hace varios años, por lo que se ha tratado de buscar alternativas para disminuir su uso dentro del manejo integrado de las enfermedades que afectan al cultivo del arroz. Dentro de estas alternativas naturales e inocuas se encuentran los productos a base de bacterias rizosféricas con potencial para controlar las enfermedades fúngicas e incrementar los rendimientos del cultivo (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2008).

PGPB: Principales mecanismos de acción

Las PGPB fueron clasificadas por Bashan y Holguín (1998) en dos grupos: PGPB y biocontrol-PGPB, incluyendo a todas las bacterias beneficiosas y teniendo en cuenta su papel particular. El término PGPB es aplicable a las bacterias que influyen directamente sobre el metabolismo de las plantas promoviendo el aumento de la toma de agua y nutrientes, el desarrollo del sistema radical, y la estimulación del funcionamiento de otros microorganismos beneficiosos presentes en la rizosfera. La clasificación Biocontrol-PGPB es utilizada para las bacterias que, además, tienen la capacidad de controlar a fitopatógenos por la producción de metabolitos inhibitorios o por la inducción de resistencia en las plantas.

Las PGPB pueden promover el crecimiento por diferentes vías; de forma directa esta acción se evidencia en ausencia de otros microorganismos, mientras que los mecanismos indirectos se pueden observar en la interacción del microorganismo de interés con un fitopatógeno (Fabra *et al.*, 2010). Los efectos directos de las PGPB involucran la fijación del nitrógeno atmosférico que puede llegar a cubrir las necesidades de nitrógeno de las plantas inoculadas e inducir acumulaciones superiores al 100% de nitrógeno en su materia seca total (Baset Mia *et al.*, 2010), producción de sideróforos (Ahmad *et al.* 2008; Ramos-Solano *et al.*, 2010), solubilización de minerales (Sgroy *et al.*, 2009), síntesis de promotores del crecimiento (Barea *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2005; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010), así como la producción de ácido indol-3-acético (AIA) y la colonización de la rizosfera para promover el crecimiento de diversos cultivos agrícolas (Malhotra y Srivastava, 2009).

El control biológico de microorganismos fitopatógenos con PGPB puede ocurrir por varios mecanismos de acción como la producción de sideróforos que hacen al hierro inaccesible para los patógenos, la síntesis de metabolitos antimicrobianos, la competencia por los nutrientes y la colonización de la raíz (Schmidt *et al.*, 2004; Lugtenberg y Kamilova, 2009), además de la inducción de resistencia sistémica en la planta (Ramos-Solano *et al.*, 2010). La detoxificación de factores de virulencia de los patógenos constituye otro mecanismo de control biológico que puede incluir la producción de una proteína que se une reversiblemente a la toxina, la detoxificación irreversible mediada por una esterasa, y la hidrólisis (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003). La colonización de las PGPB y su mantenimiento en la rizosfera se deben fundamentalmente a la producción de sustancias, tales como sideróforos, antibióticos y compuestos volátiles con capacidad biocida, y enzimas líticas y de detoxificación (Salazar *et al.*, 2006; Desender *et al.*, 2007). Algunas PGPB tienen la capacidad de activar resistencia sistémica (ISR, Induced Systemic Resistance, según sus siglas en inglés) contra diferentes tipos de patógenos, y su inducción no causa síntomas visibles en la planta hospedera. Se han propuesto varias características bacterianas (flagelos, producción de sideróforos y lipopolisacáridos) como inductoras de ISR, aunque no hay evidencia de una señal inductora global producida por las rizobacterias (Mark *et al.*, 2005; Compant *et al.*, 2010).

Las bacterias pertenecientes al género *Pseudomonas* constituyen un excelente ejemplo de la combinación de múltiples mecanismos para ejercer un efectivo control biológico, incluyendo el antagonismo directo y la inducción de resistencia en la planta. *Pseudomonas sp.* produce diversos metabolitos con actividad antimicrobiana hacia otras bacterias y hongos. La competencia es otro factor clave en las propiedades antagonistas de *Pseudomonas sp.* Además de la competencia por los sustratos, algunas investigaciones sobre la producción de sideróforos (pyoverdine, pyochelin) por especies de *Pseudomonas* han mostrado su relación con la competencia por el hierro mediada por sideróforos en el control de los géneros *Fusarium* y *Pythium* en suelos agrícolas (Cornelis y Matthijs, 2002; Barea *et al.*, 2005).

Por otra parte, se encontró que otro modo de promover el crecimiento e inducir resistencia en plantas por rizobacterias es la producción de compuestos volátiles que son liberados por ciertos microorganismos y que desencadenan una serie de mecanismos en cascada que dependen unos de otros, y la suma de ellos es la responsable de los efectos obtenidos en las plan-

tas inoculadas (Ping y Boland, 2004; Kai y Piechulla, 2009).

Estado actual y perspectivas del uso de rizobacterias para controlar la piriculariosis en el cultivo del arroz

El control biológico de patógenos mediante el uso de microorganismos antagonistas ofrece una alternativa atractiva frente al empleo de compuestos químicos por el rechazo que estos últimos han provocado en la sociedad (Barea *et al.*, 2005). En este sentido, las rizobacterias sobresalen como una solución a los problemas ambientales causados por la agricultura intensiva tradicional, y varios autores han informado la eficacia de productos elaborados con rizobacterias en el control de enfermedades que afectan a cultivos anuales y perennes (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2008; Barriuso *et al.*, 2008; Hassan *et al.*, 2010; Koranteng y Awuah, 2011). Se ha demostrado la actividad antagónica de bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia* y *Erwinia*, así como de *Streptomyces* contra *P. grisea* (Rojas *et al.*, 2008; Zarandi *et al.*, 2009). Se informó que 16% de los aislamientos de rizobacterias asociadas a semillas de arroz inhibieron al patógeno *P. grisea* (Cottyn *et al.*, 2009). Los estudios mencionados son una evidencia precisa del potencial antagónico de las rizobacterias contra este hongo fitopatógeno. Por otra parte, se demostró la inducción de resistencia sistémica en plantas de arroz contra el patógeno *Magnaporthe grisea* mediante la utilización de *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2, además de observarse la disminución de la aparición de síntomas de la enfermedad (De Vleeschauwer *et al.*, 2006).

Diversos bioproductos activos desarrollados a partir de cepas de *Pseudomonas fluorescens* fueron evaluados para controlar la piriculariosis. Sin embargo, tenían como desventaja la necesidad de múltiples aplicaciones en campo para lograr la protección efectiva, debido a la disminución de microorganismos antagonistas en la rizosfera en el tiempo (Krishnamurthy y Gnana-manickam, 1998). Otras investigaciones demostraron una protección de hasta 80 días posteriores a la aplicación por aspersión foliar de una formulación en talco a base de *Serratia marcescens* (Jaiganesh *et al.*, 2007). También se ha evidenciado la actividad antagónica de cepas de *Pseudomonas fluorescens* y *Burkholderia cepacia* ante los patógenos *Fusarium* y *Curvularia* (Trujillo *et al.*, 2007). En otros estudios se informó que bacterias antagonistas de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia* y *Erwinia*, aisladas de la rizosfera del arroz, han mostrado su efectividad en el control de los fitopatógenos *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium oryzae*, *P. grisea*,

Sarocladium oryzae y *Fusarium fujikuroi* en laboratorio, macetas y campo (Joshi *et al.*, 2006; Velusamy *et al.*, 2006). Chaiharn *et al.* (2009) informaron que un aislado productor de sideróforos de la especie *Bacillus firmus* inhibió el crecimiento de *P. oryzae*.

Recientemente se encontró que cepas de pseudomonas fluorescentes, identificadas como *P. fluorescens* y *P. putida*, tienen la capacidad de ejercer efecto antagónico *in vitro* ante las cepas de *Curvularia pallescens* AAD-430, CH5 y *C. trifolii* AAD-533, especies que son reconocidas como patógenos causantes del manchado del grano en el cultivo del arroz, sin observarse efecto diferencial de las rizobacterias ante los patógenos fúngicos estudiados (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010). Sin embargo, Rives *et al.* (2009) demostraron la efectividad de estas rizobacterias contra cepas autóctonas cubanas de *P. grisea* encontrando diferencias en las interacciones microorganismo-microorganismo al enfrentar las rizobacterias antagónicas ante las cepas fúngicas de una misma especie. Estos resultados se corresponden con lo planteado por Jaiganesh *et al.* (2007), quienes señalaron que este efecto se pone de manifiesto al encontrarse las rizobacterias en presencia de diferentes razas fisiológicas o variedades del patógeno que responden con diferentes niveles de resistencia ante el antagonista aplicado. Este comportamiento, unido a la producción de metabolitos con actividad antifúngica, podría indicar las potencialidades de las cepas de PGPB en el control biológico. Sin embargo, se deben realizar estudios *in vivo* e *in situ* para confirmar esta hipótesis. De modo general, el empleo de PGPB para controlar enfermedades en el cultivo del arroz se ha demostrado mediante diversas investigaciones. No obstante, es necesario profundizar en el estudio de los diferentes microorganismos propuestos como antagonistas y sus verdaderos mecanismos de acción mediante estudios a nivel bioquímico y molecular.

Es importante trabajar con cepas de rizobacterias autóctonas de los ecosistemas arroceros en estudio, las que podrían tener una mayor eficiencia ante las razas de patógenos presentes en las mismas condiciones naturales. Se debe realizar su aislamiento por diferentes metodologías, y luego usar como primer criterio de selección la actividad antagónica de los aislados ante el patógeno de interés, para posteriormente proceder a la caracterización de las cepas promisorias.

Este enfoque de control biológico de patógenos expresado a través del uso de rizobacterias puede apoyar, de manera fundamental, el desarrollo de una agricultura sustentable. Con esta alternativa se pretende disminuir el uso de productos químicos y contribuir al

ahorro de recursos, al mejoramiento de los suelos, a la protección del medioambiente y la salud del hombre. Dado el potencial benéfico que presentan las rizobacterias, expresado a través de la producción de diferentes metabolitos de interés, representan una fuente interesante para utilizar con el objetivo de establecer la elaboración de productos eficientes que puedan ser incluidos en el manejo integrado de enfermedades en cultivos de importancia económica, y específicamente en el control de *Pyricularia grisea* en el cultivo del arroz.

Conclusiones

La actividad antagónica de las bacterias rizosféricas contra *Pyricularia grisea* indica su eficiencia como agentes de control biológico y sus potencialidades para ser usadas como inoculantes microbianos en el cultivo del arroz. Sin embargo, es necesario aislar y caracterizar cepas autóctonas de ecosistemas arroceros para obtener productos factibles desde el punto de vista ecológico, y abordar estudios básicos que contribuyan a dilucidar sus verdaderos mecanismos de acción, con el objeto de mejorar su efectividad y sostenibilidad cuando sean aplicadas a mayor escala.

Referencias bibliográficas

- Ahmad, F., Ahmad, I., Khan, M. S. 2008 Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163 (2): 173-181.
- Ali, A., Khan, M. H., Bano, R., Rashid, H., Raja, N. I., Chaudhry, Z. 2009. Screening of Pakistani rice (*Oryza sativa*) cultivars against *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae*. *Pakistan Journal of Botany*, 41 (5): 2595-2604.
- Arregocés, O., Rosero, M., González, J. 2005. Morfología de la planta de arroz. Cali: Publicaciones Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R., Azcón-Aguilar, C. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56 (417): 1761-1778.
- Barriuso, J., Ramos-Solano, B., Gutiérrez-Mañero, F. J. 2008. Protection against pathogen and salt stress by four plant growth-promoting rhizobacteria isolated from *Pinus* sp. on *Arabidopsis thaliana*. *Phytopathology*, 98 (6): 666-672.
- Baset Mia, M. A., Shamsuddin, Z. H., Wahab, Z., Marziah, M. 2010. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured *Musa* plantlets under nitrogen-free hydroponics conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 4 (2): 85-90.
- Bashan, Y., Holguin, G. 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 1225-1228.

- Cárdenas, R. M., Mesa, S., Polón, R., Pérez, N., Cristo, E., Fabr e, L., Hern andez, J. J. 2010. Relación entre la incidencia de la piriculariosis (*Pyricularia grisea* Sacc.) del arroz (*Oryza sativa* Lin.) y diferentes variables climáticas en el complejo agroindustrial arrocero los palacios. *Cultivos Tropicales*, 31 (1): 14-18.
- Cárdenas, R. M., Pérez, N., Cristo, E., González, M. C., Fabr e, L. 2005. Estudio sobre el comportamiento de líneas y variedades de arroz (*Oryza sativa* Lin.) ante la infección por el hongo *Pyricularia grisea* Sacc. *Cultivos Tropicales*, 26 (4): 83-87.
- Castrej n-Muñoz, M. 2008. The effect of temperature and relative humidity on the airborne concentration of *Pyricularia oryzae* spores and the development of rice blast in southern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6 (1): 61-69.
- Chaihan, M., Chunhaleuchanon, S., Lumyong, S. 2009. Screening siderophore producing bacteria as potential biological control agent for fungal rice pathogens in Thailand. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25 (11): 1919-1928.
- Compant, E., Climent, C., Sessitsch, A. 2010. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (5): 669-678.
- Compant, S., Nowak, J., Coenye, T., Clément, C., Ait-Barka, E. 2008. Diversity and occurrence of *Burkholderia* spp in the natural environment. *FEMS Microbiology Reviews*, 32 (4): 607-626.
- Cornelis, P., Matthijs, S. 2002. Diversity of siderophore mediated iron uptake systems in fluorescent pseudomonas: not only pyoverdines. *Environmental Microbiology*, 4 (2): 787-798.
- Cottyn, B., Debode, J., Regalado, E., Mew, T. W., Swings, J. 2009. Phenotypic and genetic diversity of rice seed-associated bacteria and their role in pathogenicity and biological control. *Journal of Applied Microbiology*, 107 (3): 885-897.
- De Vleeschauwer, D., Cornelis, P., H fte, M. 2006. Redox-active pyocyanin secreted by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2 triggers systemic resistance to *Magnaporthe grisea* but enhances *Rhizoctonia solani* susceptibility in rice. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19 (12): 1406-1419.
- Desender, S., Andrivon, D., Val, F. 2007. Activation of defence reactions in *Solanaceae*: where is the specificity? *Cellular Microbiology*, 9 (1): 21-30.
- Ebbole, D. J. 2008. Magnaporthe as a model for understanding host-pathogen interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 45: 437-456.
- Fabra, A., Castro, S., Taurian, T., Angelini, J., Iba ez, F., Dardanelli et al. 2010. Interaction among *Arachis hypogaea* L. (Peanut) and beneficial soil microorganisms: how much is it known? *Critical Reviews in Microbiology*, 36: 179-194.
- Han, J., Sun, L., Dong, X., Cai, Z., Sun, X., Yang et al. 2005. Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delftia tsuruhatensis* HR4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various plant pathogens. *Systematic and Applied Microbiology*, 28 (1): 66-76.
- Hassan, M. N., Afgani, S., Hafeez, F. Y. 2010. Suppression of red rot caused by *Colletotrichum falcatum* on sugarcane plant using plant growth-promoting rhizobacteria. *Biocontrol*, 55 (4): 531-542.
- Hern andez-Rodríguez, A., Heydrich-Pérez, M., Acebo-Guerrero, Y., Velázquez-del Valle, M. G., Hern andez-Lauzardo, A. N. 2008. Antagonistic activity of Cuban native rhizobacteria against *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenb. in maize (*Zea mays* L.). *Applied Soil Ecology*, 39 (2): 180-186.
- Hern andez-Rodríguez, A., Heydrich-Pérez, M., Diallo, B., Jaziri, M. E., Vandeputte O. M. 2010. Cell-free culture medium of *Burkholderia cepacia* improves seed germination and seedling growth in maize (*Zea mays*) and rice (*Oryza sativa*). *Plant Growth Regulation*, 60 (3): 191-197.
- Hern andez-Rodríguez, A., Heydrich-Pérez, M., Velázquez-del Valle, M. G., Hern andez-Lauzardo, A. N. 2005. Perspectivas del empleo de rizobacterias como agentes de control biológico en cultivos de importancia económica. *Revista Mexicana de Fito-patología*, 24 (1): 42-49.
- Jaiganesh, V., Eswaran, A., Balabaskar, P., Kannan, C. 2007. Antagonistic activity of *Serratia marcescens* against *Pyricularia oryzae*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 35 (2): 48-54.
- Joshi, R., McSpadden Gardener, B. B. 2006. Identification and characterization of novel genetic markers associated with biological control activities in *Bacillus subtilis*. *Phytopathology*, 96 (2): 145-154.
- Kai, M., Piechulla, B. 2009. Plant growth promoting due to rhizobacterial volatiles- An effect of CO₂? *FEBS Letters*, 583 (21): 3473-3477.
- Koranteng, S. L., Awuah, R. T. 2011. Biological suppression of black pod lesion development on detached cocoa pods. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (1): 67-72.
- Krishnamurthy, K., Gnanamanickam, S. S. 1998. Biological Control of Rice Blast by *Pseudomonas fluorescens* Strain Pf 7-14: Evaluation of a Marker Gene and Formulations. *Biological Control*, 13 (3): 158-165.
- Lugtenberg B., Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63: 541-556.
- Malhotra, M., Srivastava, S. 2009. Stress-responsive indole-3-acetic acid biosynthesis by *Azospirillum brasilense* SM and its ability to modulate plant growth. *European Journal of Soil Biology*, 45 (1): 73-80.
- Mark, G. L., Dow, J. M., Kiely, P. D., Higgins, H., Haynes, J., Baysse, C. et al. 2005. Transcriptome profiling of bacterial responses to root exudates identifies genes involved in microbe-plant interactions. *The Proceedings of the National Academic of Science USA*, 102 (48): 17454-17459.
- Minagri. 2006. Instructivo t cnico de arroz (Arroz, I.d.I.d., ed.). La Habana: Centro Nacional de Sanidad Vegetal.
- Padovani, L., Capri, E., Padovani, C., Puglisi, E., Trevisan, M. 2006. Monitoring triciclazole residues in rice paddy watersheds. *Chemosphere*, 62(2): 303-314.
- Persello-Cartieaux, F., Nussaume, L., Robaglia, C. 2003. Tales from the underground: molecular plant-rhizobacteria interactions. *Plant, Cell and Environment*, 26 (2): 189-199.

- Pincioli, M., Cordo, M. C., Bezus, R., Vidal, A. A., Delucis, M. 2006. Development of rice blast under two nitrogen availability conditions. *Summa Phytopathologica*, 32 (3): 280-282.
- Ping, L., Boland, W. 2004. Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*. *Trends in Plant Science*, 9 (6): 263-266.
- Ramos-Solano, B., García, J. A. L., García-Villaraco, A., Algar, E., García-Cristóbal, J., Mañero, F. J. G. 2010. Siderophore and chitinase producing isolates from the rhizosphere of *Nicotiana glauca* Gram. Enhance growth and induce systemic resistance in *Solanum lycopersicum* L. *Plant and Soil*, 334 (1): 189-197.
- Rives, N., Acebo, Y., Almaguer, M., García, J. C., Hernández, A. 2009. Actividad antagonica frente a *Pyricularia grisea* (Sacc.) y fitoestimulación en el cultivo del arroz de cepas autóctonas de *Pseudomonas putida* (Trev.). *Revista de Protección Vegetal*, 24 (2): 106-116.
- Rodríguez, A. T., Ramírez, M. A., Cardenas, R. M., Hernández, A. N., Velázquez, M. G., Bautista, S. 2007. Induction of defense response of *Oryza sativa* L. against *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. by treating seeds with chitosan and hydrolyzed chitosan. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89 (3): 206-215.
- Rojas, M., Tejera, B., Larrea, J., Heydrich, M. 2008. Caracterización de cepas del género *Bacillus* asociadas al cultivo del arroz (*Oryza sativa*). *Revista Cubana del Arroz*, 3 (1): 1-6.
- Salazar, L. M., Patiño, L. F., Bustamante, E. 2006. Sustratos foliares para el incremento de bacterias quitinolíticas y gluconolíticas en la filosfera de banano. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía* (Colombia), 59 (2): 3449-3465.
- Schmidt, C. S., Agostini, F., Leifert, C., Killham, K., Mullins, C. E. 2004. Influence of soil temperature and matric potential on sugar beet seedling colonization and suppression of *Pythium* damping-off by the antagonistic bacteria *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*. *Phytopathology*, 94 (4): 351-363.
- Sgroy, V., Cassán, F., Masciarelli, O., Del Papa, M. F., Lagares, A., Luna, V. 2009. Isolation and characterization of endophytic plant growth-promoting (PGPB) or stress homeostasis-regulating (PSHB) bacteria associated to the halophyte *Prosopis strombulifera*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85 (2): 371-381.
- Thuan, N., Bigirimana, J., Roumen, E., van der Straeten, E., Hofte, M. 2006. Molecular and pathotype analysis of the rice blast fungus in North Vietnam. *European Journal of Plant Pathology*, 114 (4): 381-396.
- Trujillo, I., Díaz, A., Hernández, A., Heydrich, M. 2007. Antagonismo de cepas de *Pseudomonas fluorescens* y *Burkholderia cepacia* contra hongos fitopatógenos del arroz y el maíz. *Revista de Protección Vegetal*, 22 (1): 7-14.
- Velusamy, P., Immanuel, J. E., Gnanamanickam, S. S., Thomashow, L. 2006. Biological control of rice bacterial blight by plant-associated bacteria producing 2,4-diacetylphloroglucinol. *Canadian Journal of Microbiology*, 52 (1): 56-65.
- Welbaum, G., Sturz, A. V., Dong, Z., Nowak, J. 2004. Managing soil microorganisms to improve productivity of agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23 (2): 175-193.
- Wilson, R. A., Talbot, N. J. 2009. Under pressure: investigating the biology of plant infection by *Magnaporthe oryzae*. *Nature Reviews Microbiology*, 7 (3): 185-195.
- Xiao, D., Li, W., Ewi, T., Wu, Z., Xie, L. 2010. Advances in the studies of rice stripe virus. *Frontier of Agriculture in China*, 4 (3): 287-292.
- Yu, C. L., Yan, S. P., Wang, C. C., Hu, H. T., Sun, W. N., Yan, C. Q. 2008. Pathogenesis-related proteins in somatic hybrid rice induced by bacterial blight. *Phytochemistry*, 69 (10): 1989-1996.
- Zarandi, M. E., Bonjar, S. G., Dehkaei, F. P. 2009. Biological control of rice blast by use of *Streptomyces sindeneusis* isolate 263 in greenhouse. *American Journal of Applied Sciences*, 6(1): 194-199.