



Efecto de la Inoculación de Cianobacterias en Cultivos de Interés Comercial en Zonas Semiáridas de la Guajira-Colombia

Cyanobacteria inoculation effect on interest commercial crops in semi-arid zones of La Guajira-Colombia

Daldo Ricardo Araujo Vidal¹, Ruth Elena Hernández Benítez², Javier Vanegas Guerrero³

Recibo: 09.08.2017 Aceptado: 27.02.2018

Araujo, D., Hernández, R. y Vanegas, J. (2008). Efecto de la Inoculación de Cianobacterias en Cultivos de Interés Comercial en Zonas Semiáridas de La Guajira – Colombia. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 20–31. doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.889>

Resumen

Las cianobacterias son una alternativa para disminuir la fertilización química y aumentar la producción en cultivos de interés comercial. Tienen la capacidad de fijar N, producir reguladores de crecimiento, vitaminas y aminoácidos con la capacidad de estimular el crecimiento vegetal. El objetivo de este proyecto fue determinar el efecto de la inoculación de cianobacterias aisladas de cultivos de arroz de la Guajira, Colombia en plantas de arroz, maíz y frijol. Se muestrearon seis fincas de arroz de los municipios de Fonseca y Distracción. De cada lote se obtuvieron tres muestras integradas de raspado de sustrato y agua superficial. Las microalgas se aislaron en medio BG11 e identificadas morfológicamente. Las cianobacterias *Gloeocapsa* y *Oscillatoria amphibia*, de forma individual y en mezcla, se inocularon en arroz, frijol y maíz en parcelas experimentales. Se usaron plantas sin inocular como control negativo, así como plantas con fertilización química. Se realizó un registro diario de la altura de las plantas. Se identificaron 15 géneros de microalgas como *Gloeocapsa* sp., *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *Anabaena* sp., *Chroococcus* sp., y *Oscillatoria* entre otras. La inoculación con las cianobacterias no presentó diferencias significativas con respecto a la fertilización nitrogenada en los tres cultivos, lo que representa un ahorro en fertilización. A partir de los 35 días de inoculación, el tratamiento con *Gloeocapsa* presentó incrementos significativos con respecto al control sin inocular hasta del 15,0% en plantas de arroz. Estos resultados postulan a la cianobacteria *Gloeocapsa* como un potencial biofertilizante para cultivos de arroz y la inoculación de cianobacterias como un sustituto de la fertilización nitrogenada en cultivos como el maíz y el frijol.

Palabras clave: cianobacterias, microalgas, promoción de crecimiento, arroz, maíz, frijol.

¹Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; daraujov@misena.edu.co; Colombia

²Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; rhernandezb@sena.edu.co; Colombia

³Universidad Antonio Nariño Facultad de Ciencias, Departamento de Biología; javanegas100@uan.edu.co; Colombia

Abstract

Cyanobacteria are an alternative to reduce chemical fertilization and increase production in crops of commercial interest. Cyanobacteria have the ability to fixation N, produce growth regulators, vitamins and amino acids with the ability to stimulate plant growth. The objective of this project was to determine the effect of the inoculation of cyanobacteria isolated from Guajira rice crops on rice, maize and bean plants. Six rice farm were sampled in the municipalities of Fonseca and Distracción. Three integrated samples of substrate scraping and surface water were obtained from each farm. The microalgae were isolated in BG11 medium and identified morphologically. The cyanobacteria *Gloeocapsa* and *Oscillatoria amphibia*, individually and in mixture, were inoculated in rice, bean and maize plants in experimental plots. Non-inoculated plants were used as negative control, as well as plants with chemical fertilization. A daily record was made of plant height. It was identified 15 genera of microalgae such as *Gloeocapsa* sp., *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *Anabaena* sp., *Chroococcus* sp., and *Oscillatoria* among others. The inoculation with the cyanobacteria did not present significant differences with respect to the nitrogen fertilization in the three crops, which represents a saving in fertilization. From the 35 days inoculation the treatment with *Gloeocapsa* sp presented significant increases with respect to the control without inoculating up to 15.0% in rice plants. These results postulate *Gloeocapsa* as a potential biofertilizer for rice crops and the inoculation of cyanobacteria as a substitute for nitrogen fertilization in crops such as corn and beans.

Keywords: cyanobacteria, microalgae, growth promotion, rice, corn, beans.

Introducción

La inoculación de cianobacterias contrasta con los manejos tradicionales del cultivo que implican el uso de una gran cantidad de fertilizantes nitrogenados con baja asimilación (50%), lo que genera problemas ambientales como la eutrofización de aguas, la producción de gases de invernadero y potenciales problemas de salud humana (Linguist, Liu, van Kessel, y van Groenigen, 2013).

Al contrario, la inoculación de cianobacterias mejora la calidad del suelo (Maqubela, Mnkeni, Issa, Pardo, D'Acqui, 2009) y permite la captación de gases efecto de invernadero como el CO₂ y la producción de O₂ (Pires, Alvim-Ferraz, Martins, y Simões, 2012).

A pesar de los numerosos reportes de países asiáticos sobre el éxito de la inoculación de

plantas como el arroz con cianobacterias y algunos países de Suramérica (Prasanna, Joshi, Rana, Shivay y Nain, 2012; Sharma, Tiwari, Tripathi y Rai, 2011; Pereira *et al.*, 2009), esta estrategia no ha sido implementada en Colombia.

Las cianobacterias además de fijar N son capaces de producir reguladores de crecimiento como auxinas tipo ácido indolacético (Prasanna, Jaiswal, Singh y Singh, 2009), citoquininas (Vaishampayan *et al.*, 2001) y giberelinas (Rodríguez, Stella, Storni, Zulpa y Zaccaro, 2006), aumentar la disponibilidad de P por medio de la emisión de ácidos orgánicos (Rai y Sharma, 2006) y la producción de fosfatasas extracelulares (Stihl, Sommer y Post, 2001). Igualmente, las cianobacterias producen una amplia variedad de metabolitos secundarios con actividad antiviral, antibacterial y antifúngica (Rastogi y Sinha, 2009; Sharma *et al.*, 2011).

Una estrategia para aumentar la productividad agrícola y no impactar negativamente sobre el medio ambiente es la incorporación de cianobacterias. Estas han permitido reducir la aplicación de fertilizantes nitrogenados hasta en un 50% en cultivos como el arroz, aumentar la asimilación de nutrientes en la planta (Pereira *et al.*, 2009; Prasanna *et al.*, 2012) e incrementar entre el 15 y el 20% la producción de grano de arroz bajo condiciones de campo en diversos países del trópico mejorando la calidad del suelo (Innok, Chunleuchanon, Boonkerd y Teaumroong, 2009; Maqubela *et al.*, 2009). Igualmente, el uso de cianobacterias permite la captación de gases efecto de invernadero como el CO₂ y la producción de O₂.

Los biofertilizantes a base de cianobacterias presenta las siguientes ventajas: Los microorganismos a nivel de laboratorio, presentan mínimos requerimientos nutricionales para su crecimiento y poseen rápidas tasas de crecimiento (Herrero y Flores, 2008). A nivel de campo, las cianobacterias tienen alta competitividad a altas temperaturas, radiación UV, desecación y estrés salino e hídrico (Singh, Häder y Sinha, 2010). Esta plasticidad metabólica ha permitido que las cianobacterias sean halladas en la mayoría de los suelos agrícolas y mantengan una alta diversidad y abundancia en agroecosistemas como el arroz (Lin, Chou y Wu, 2013).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la inoculación de cianobacterias nativas de forma individual y en mezclas en arroz, maíz y frijol en suelos de la Guajira. Comprender la diversidad de cianobacterias de zonas semiáridas permitirá el establecimiento de biofertilizantes bajo condiciones extremas en cultivos de la Guajira que disminuyan el uso de insumos agrícolas de síntesis inorgánica y los costos de producción, manteniendo la productividad sin afectar el medio ambiente.

Materiales y métodos

Muestreo

Para la obtención de las cepas se realizaron dos muestreos en seis fincas arroceras con plantas en estado vegetativo del departamento de la Guajira en los municipios de Fonseca y Distracción. Fonseca, corregimiento el Hatico (N10°54'37.6128", W72°51'15.8508" y N 10°54'37.44", W 72°51'16.4232"); Distracción, corregimiento los Hornitos (N10°55'7.9068", W72°55'1.0992"). Las muestras se obtuvieron por raspado de rocas, hojas o restos vegetales con presencia de microalgas (Hashtroudi, Ghassempour, Riahi, Shariatmadari y Khanjir, 2013) y colección de agua superficial del cultivo de forma aleatoria. De cada lote se tomaron tres muestras integradas que se procesaron individualmente (Pereira *et al.*, 2009).

Aislamiento, conservación y propagación

El material colectado en campo se suspendió en 30 mL de medio líquido BG11, los cultivos se dejaron en incubación por siete días bajo fotoperiodo 12:12 y con iluminación de 200 Em-2s-1 (Hashtroudi *et al.*, 2013). Se realizaron diluciones seriadas de la suspensión y se sembraron en placas de medio BG11 para la obtención de cianobacterias axénicas (Ernst, Deicher, Herman y Wollenzien, 2005). Las cianobacterias se observaron con microscopio de fluorescencia Axio Imager A2 en aumentos de 40X y 100X y se identificaron según su forma, tamaño de las células intercalares y grosor mediante el manual de Garrity, Bell y Lilburn (2004). Las microfotografías y las medidas se registraron con el software ZEN.

Inoculación de cianobacterias

Las cianobacterias *Gloeocapsa* sp. y *Oscillatoria* *amphibia* se seleccionaron para los ensayos de inoculación debido a su rápido crecimiento. Las

cianobacterias se escalaron hasta tres litros a una densidad de 0,9 Abs (680nm) luego de 30 días de crecimiento en medio líquido BG11. La temperatura de cultivo osciló entre los 26 y 30°C y el pH entre 9,0 y 10,5 con aireación constante. La iluminación se suministró por lámparas fluorescentes de 80 W laterales que proporcionaron la misma intensidad de luz a todos los cultivos.

Se tomaron las semillas certificadas de arroz, maíz y frijol. Las semillas se colocaron en agua para hidratarlas por 24 h, luego se desinfectaron con solución jabonosa por 3 min, hipoclorito al 4% por 1 min y agua destilada estéril por 1 min. Después de la hidratación y desinfección química, las semillas se colocaron en bandejas de germinación. Posteriormente, las plántulas se trasladaron a parcelas experimentales. La variable de crecimiento fue la altura de la planta.

Diseño experimental

Para las tres especies de planta se ensayaron cinco tratamientos bajo un diseño experimental completamente aleatorio con tres replicas por tratamiento: T1. Semillas sin inocular que se denominaron blanco, T2. Semillas inoculadas con *Gloeocapsa* sp., T3. Semillas inoculadas con *O. amphibia*, T4. Semillas inoculadas con *Gloeocapsa* sp. y *O. amphibia* y, T5. Un control de fertilización nitrogenado con urea. La densidad de siembra por metro cuadrado fue de 25, 6 y 4 plantas de arroz, frijol y maíz respectivamente.

Para el análisis de datos se determinó la media por tratamientos y un ANOVA para establecer diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias por día de muestreo. Las medias con diferencias estadísticas se analizaron por el test de comparación de medias de Tukey mediante el paquete estadístico R.

Resultados y discusión

Aislamiento e identificación de microalgas de cultivos de arroz

Se aislaron 15 microalgas que se identificaron como *Oscillatoria amphibia*, *Arthrospira* sp., *Pandorina* sp., *Pseudoanabaena* sp., *Spirogyra* sp., *Oedogonium* sp., *Chlorella* sp., *Scenedesmus quadricauda*, *Oscillatoria limosa*, *Chroococcus* sp., *Microcystis* sp., *Anabaena* sp., *Gloeocapsa* sp., *Scenedesmus obliquus* y *Glorenkinia* sp (Figura 1).

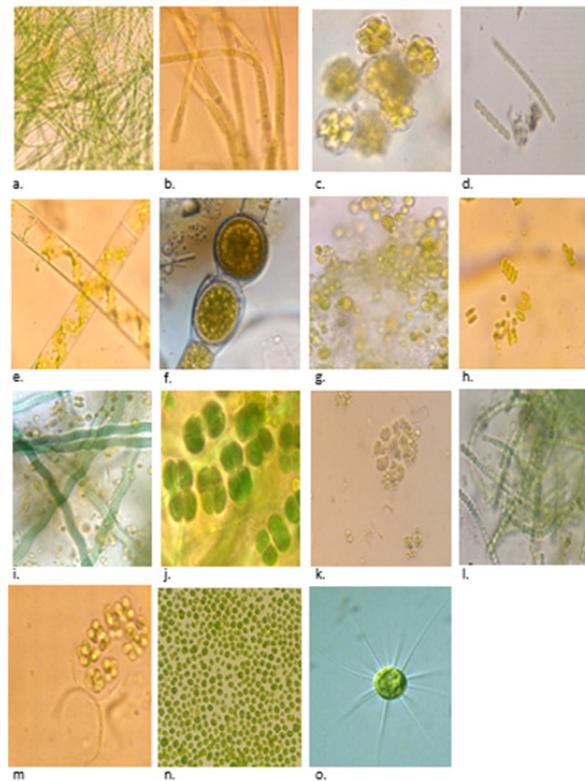


Figura 1. Microfotografías de las microalgas identificadas en el área de estudio: a. *Oscillatoria amphibia*, b. *Arthrospira* sp., c. *Pandorina* sp., d. *Pseudoanabaena* sp., e. *Spirogyra* sp., f. *Oedogonium* sp., g. *Chlorella* sp., h. *Scenedesmus quadricauda*, i. *Oscillatoria limosa*, j. *Chroococcus* sp., k. *Microcystis* sp., l. *Anabaena* sp., m. *Gloeocapsa* sp., n. *Scenedesmus obliquus*, o. *Glorenkinia* sp.

Fuente: Elaboración propia

Dey, Tayung y Bastia (2010), reportan la presencia de 58 taxas, 19 cianobacterias formadoras de heterocistos y 39 no formadoras de heterocistos en cultivo de arroz en la India. Ellos reportan que las cianobacterias más abundantes fueron *Oscillatoria chalybea* (9,90%) seguida por *Oscillatoria subbrevis* (8,96%), *Phormidium purpurascens* (8,49%), *Cylindrospermum muscicola* (8,01%), *Oscillatoria clorina* (8,01%), *Anabaena constricta* (5,66%), *Oscillatoria princeps* (5,18%) y *Oscillatoria animalis* (4,71%).

Selvi y Sivakumar (2012), reportan 30 especies de cianobacterias formadoras de heterocistes provenientes de siete géneros en cultivo de arroz de la India. La abundancia de cianobacterias formadoras de heterocistos está asociada a bajos niveles de nitrógeno.

Song, Mårtensson, Eriksson y Rasmussen (2005), mediante una electroforesis en gel con gradiente de desnaturalización (DGGE), identificaron 24 filotipos de cianobacterias en cultivos de arroz. Las cianobacterias estaban representadas por 11 géneros, dos cianobacterias filamentosas formadoras de heterocistos (*Nostoc* y *Scytonema*), cinco filamentosas no formadoras de heterocistos (*Leptolyngbya*, *Phormidium*, *Microcoleus*, *Spirulina*, *Chroococcidiopsis*) y cuatro no unicelulares (*Synechococcus*, *Cyanothece*, *Chamaesiphon*, *Synechocystis*). Nueve secuencias presentaron cercanía con el género *Leptolyngbya*, cuatro al género *Nostoc*, tres al género *Synechococcus* y uno a cada uno de los géneros *Chamaesiphon*, *Chroococcidiopsis*, *Cyanothece*, *Microcoleus*, *Phormidium*, *Scytonema*, *Spirulina* y *Synechosystis*.

Srivastava, Bhargava, Kumar, Rai y Neilan (2009), por microscopía óptica encontraron que las cianobacterias de arroz irrigado en la India se componían de los géneros *Anabaena*, *Nostoc*, *Aulosira*, *Cylindrospermum*, *Gloeotrichia*, *Rivularia* y *Tolypothrix* del orden *Nostocales*;

Oscillatoria, *Lyngbya* y *Phormidium* de las *Oscillatoriales*; *Fischerella* y *Hapalosiphon* de *Stigonematales*; y *Aphanothece* y *Gloeothece* de los *Chroococcales*. Adicionalmente, mediante DGGE reporta seis fragmentos de PCR pertenecientes a *Anabaena* (*A. doliolum*, *A. anomala*, *A. oryzae* y *A. variabilis*), cuatro con *Nostoc* (*N. endophytum*, *N. muscorum* y *Nostoc* sp. CCG3), dos con *Aulosira* (*A. fertilissima* y *Aulosira* sp. PP615), *Cylindrospermum* (*Cylindrospermum* sp. A1345 y CENA33), *Gloeotrichia* (ambas con *G. echinulata*) y *Hapalosiphon* (*H. welwistchii* y *Hapalosiphon* sp. CCG6), y uno con *Rivularia* (*Rivularia* sp. PCC7116), *Tolypothrix* (*Tolypothrix* sp. PCC7415) y *Fischerella* (*F. muscicola*). Srivastava et al. (2009), reportaron la presencia de cianobacterias no formadoras de heterocistos como *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Aphanothece* y *Gloeothece*.

La identificación molecular obtenida por DGGE no compartió identidad con las secuencias obtenidas de las cianobacterias cultivadas, lo que resalta la importancia de desarrollar los dos tipos de acercamiento para entender la biodiversidad de cianobacterias en agroecosistemas como el arroz. Igualmente, encontraron que los bajos niveles de salinidad favorecen el crecimiento de cianobacterias formadoras de heterocistos, mientras altas concentraciones de salinidad (más de 4 ds m⁻¹) seleccionan especies no formadoras de heterocistes.

Efecto de la inoculación de cianobacterias en maíz, frijol y arroz

La inoculación de cianobacterias podría sustituir la fertilización nitrogenada en cultivos como el arroz, frijol y maíz ya que las inoculaciones no presentaron diferencias significativas en la altura de las plantas con respecto a la fertilización nitrogenada (Figura 2-3).

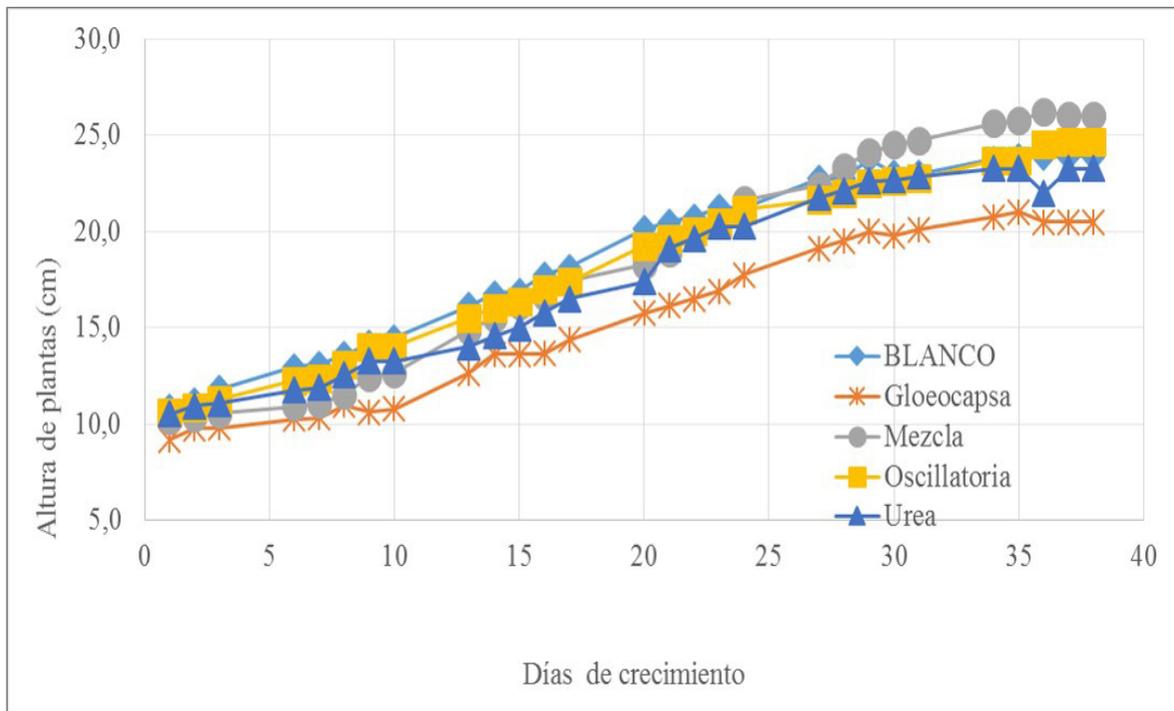


Figura 2. Altura de plantas de maíz al ser inoculadas por las cianobacterias *Gloeocapsa* y *Oscillatoria* bajo parcelas experimentales

Fuente: Elaboración propia

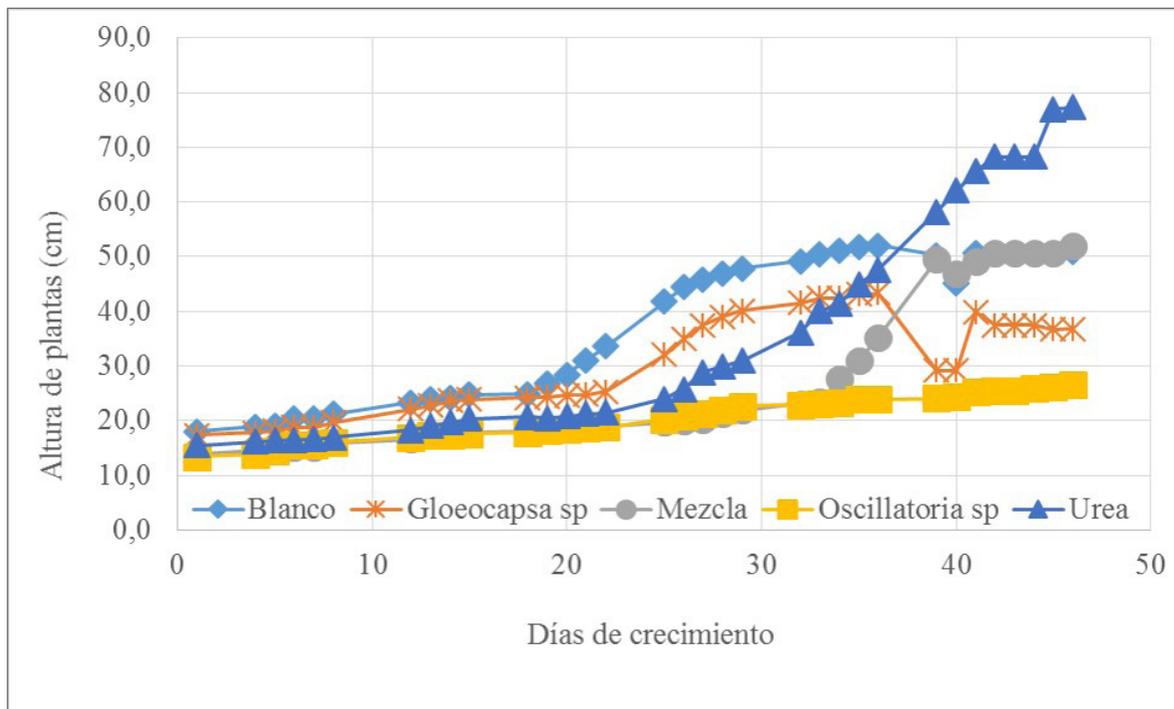


Figura 3. Altura de plantas de frijol al ser inoculadas por cianobacterias bajo parcelas experimentales

Fuente: Elaboración propia

Esto constituye un importante ahorro en los costos de producción. Se estima que los costos por fertilización en cultivos de arroz de riego y seco esta entre el 16,7% y 31,5% respectivamente. Para el frijol el costo de la fertilización es del 25%, mientras para el maíz el costo de la fertilización varía entre el 14,3% y 38,3% en Departamentos como el Meta y el Valle del Cauca (Perfetti *et al.* 2012).

La inoculación con *Gloeocapsa* sp., promovió el crecimiento en plantas de arroz entre el 8,8-15,0% durante los días 37 y 74 (Figura 4). La aplicación de cianobacterias para promover el crecimiento de plantas de interés comercial ha sido ampliamente difundida. Vessey, (2003); Shariatmadari, Riahi, Seyed Hashtroudi, Ghassempour y Aghashariatmadary (2013), reportaron que las cianobacterias *Anabaena*

vaginicola ISC90 y *Nostoc calcicola* ISC89 aisladas de suelos arroceros de Irán promovieron el crecimiento de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y calabaza (*Cucurbita maxima*). Así mismo, los efectos beneficiosos de la inoculación de cianobacterias se han reportado en diferentes cultivos como trigo (*Triticum aestivum*), soja (*Glycine max*), avena (*Avena sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*), rábano (*Raphanus sativus*), algodón (*Gossypium hirsutum*), caña de azúcar (*Saccharum* sp.), maíz (*Zea mays* L.), ají (*Capsicum annuum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), melón (*Cucumis melo*) y lechuga (*Lactuca sativa*) (Rodgers, Bergman, Henriksson y Udris, 1979; Obreht, Kerby, Gantar y Rowell, 1993; Thajuddin y Subramanian, 2005; Karthikeyan, Prasanna, Nain y Kaushik, 2007; Saadatnia y Riahi, 2009).

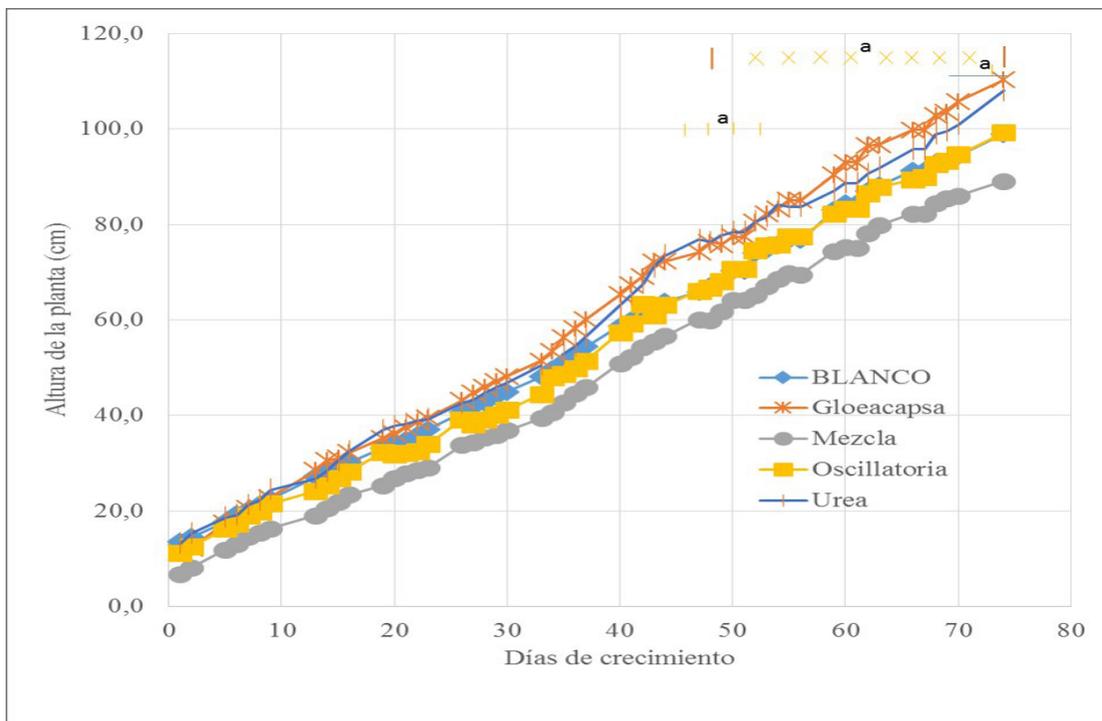


Figura 4. Monitoreo de la altura de plantas de arroz al ser inoculadas por cianobacterias bajo parcelas experimentales. Las letras “a” indican aumentos significativos de los tratamientos *Gloeocapsa* y de urea sobre los demás tratamientos

Fuente: Elaboración propia

Los efectos benéficos de la inoculación de cianobacterias se han reportado extensamente en el modelo arroz (Kennedy, Choudhury y Kecskés, 2004). La aplicación de cianobacterias en cultivos de arroz ha incrementado el rendimiento de grano en diversos países asiáticos como la India, China, Egipto, Japón y Filipinas (Vaishampayan *et al.*, 2001; Sharma *et al.*, 2011) y algunos países de Suramérica como Chile (Pereira *et al.*, 2009).

Los resultados revelan un incremento en rendimiento de grano entre 15 y 20% en experimentos de campo (Innok *et al.*, 2009). La inoculación no solo mejora el rendimiento de grano sino el aumento en el contenido de N del grano, el crecimiento vegetal (altura de planta, longitud de la hoja bandera biomasa vegetal y el número de macollas) y los componentes de rendimiento (Vaishampayan *et al.*, 2001).

La mezcla de las cianobacterias *Gloeocapsa* sp. y *Oscillatoria* no presentó aumentos en la promoción de crecimiento vegetal. Los mejores resultados en la promoción de crecimientos parecen obtenerse cuando se mezclan inóculos de poblaciones locales de cianobacterias a un bajo nivel de fertilizante nitrogenado (Mishra y Pabbi, 2004). Igualmente, la introducción de cianobacterias puede establecerse de forma permanente y mejorar la calidad del suelo si la inoculación se realiza de manera consecutiva para tres o cuatro ciclos de cultivo. Prasanna *et al.*, (2012), reportan incrementos en el rendimiento de arroz del 19% con respecto al control empleando como inoculante la cianobacteria *Anabaena* sp. ellos determinaron que la mezcla entre rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) y cianobacterias promovió la germinación y el crecimiento de las plantas de arroz economizando entre 40-80 kg ha⁻¹ de N, además se mejoró componentes de la calidad del suelo como la retención de carbono y la actividad de la fosfatasa alcalina y deshidrogenasa.

La mayoría biofertilizantes de cianobacterias está fundamentado en la capacidad de las especies para fijar nitrógeno. La inoculación con cuatro cianobacterias (*Anabaena iyengariivar*, *Nostoc commune*, *Nostoc linckia* y *Nostoc* sp.1) en suelos arroceros de Chile permitió una disminución de hasta un 50% en el uso de fertilizantes nitrogenados (50 kg N ha⁻¹) sin disminuir los rendimientos de grano 7,4 t ha⁻¹ (Pereira *et al.*, 2009). Similares porcentajes de reducción han sido reportados por otros autores como Quesada, Leganés y Fernández-Valiente (1997). Las cepas se seleccionaron por presentar las mayores tasas de fijación de N₂, rápido crecimiento, la tolerancia a la desecación y el crecimiento a diferentes temperaturas.

Gamal-Eldin y Elbanna (2011), reportaron incrementos en grano de arroz por la inoculación del diazótrofo *Rhodobacter capsulatus* (bacteria fotótrofa púrpura del azufre) bajo condiciones de campo. La inoculación con *R. capsulatus* en combinación con el 50% de la fertilización nitrogenada presentó el mismo rendimiento de grano que el obtenido con 100% de la fertilización nitrogenada. Elbadry, Gamal-Eldin y Elbanna (1999), mostraron que la inoculación de plantas de arroz con *R. capsulatus* aumentó el rendimiento de grano de arroz bajo condiciones de invernadero. Igualmente, Harada, Nishiyama, Otsuka y Mastumoto (2005), encontraron que la inoculación de arroz con *Rhodopseudomonas* aumentó el rendimiento de arroz de grano entre el 9-21% en combinación con la aplicación de tamo de arroz.

La inoculación con *Gloeocapsa* sp., en arroz presentó los mismos incrementos en la altura de plantas que el tratamiento con fertilización nitrogenada. La urea presentó incrementos significativos del 16,4-9,2% entre los días 43 y 56; y del 6,3-9,1% con respecto al control sin inocular en la última semana de mediciones entre los días 68 y 74 en plantas de arroz. La cianobacteria *Gloeocapsa* no es formadora

de heterocistes por lo tanto su contribución a la promoción de crecimiento no obedece a la incorporación de N. Sin embargo, esta cianobacteria podría promover el crecimiento a través de la producción de auxinas y/o incremento en la formación de agregados, dando origen a mejoras en la bioestructura del suelo y por ende en la porosidad, esto debido a la emisión de mucílago/polisacáridos que actúan como agentes de unión entre las partículas del suelo.

En general, los ensayos empleando cianobacterias se formulan con especies que presentan heterocistos. Karthikeyan *et al.*, (2007), reportaron que el rendimiento de grano de trigo al inocularse con cianobacterias y un 33% de fertilización de NPK igualo al tratamiento no inoculado con fertilización completa. Cuatro inoculantes con cianobacterias (*Aulosira fertilissima*, *Anabaena sphaerica*, *Nostoc hatei*, *Cylindrospermum majusand* y *Westiellopsis prolifica*) incrementaron significativamente el rendimiento en grano y la paja de arroz ya sea solo o en combinación con fertilizantes químicos logrando un ahorro de 25kg N ha⁻¹ (Jha y Prasad, 2006), asimismo encontraron un aumento en el balance de nutrientes de N total, N disponible, P total y P disponible para los tratamientos inoculados con fertilización.

La mezcla de cianobacterias no formadoras de heterocistes como *Gloeocapsa* sp. y *O. amphibia* no presentaron incrementos en la promoción de crecimiento. No obstante podrían tener un efecto benéfico en las cualidades del suelo a largo plazo. Watanabe (1962), utilizó la cianobacteria *Tolypothrix tenuis* como fuente de abono en diferentes variedades de arroz en varios lugares de Japón. Este autor reporta un aumento promedio en el rendimiento del arroz del 2% en el primer año, del 8% en el segundo año, del 15% en el tercer año y del 19,5% en el cuarto año. El potencial de las cianobacterias como abono orgánico no ha sido explotado a pesar de sus extraordinarias cualidades nutricionales

en arroz y su fácil crecimiento, por ejemplo, cianobacterias del género *Spirulina* pueden contener el 70% de peso seco en proteínas, del 70 al 80% del total de lípidos son ácidos grasos libres, el 15 al 20% del peso seco representado en compuesto de glucosa y el glucógeno según las condiciones de crecimiento (Can, Koru y Cirik, 2017).

Conclusiones

El cultivo de arroz presenta una gran diversidad de microalgas representadas en *Oscillatoria amphibia*, *Arthrospira* sp., *Pandorina* sp., *Pseudoanabaena* sp., *Spirogyra* sp., *Oedogonium* sp., *Chlorella* sp., *Scenedesmus quadricauda*, *Oscillatoria limosa*, *Chroococcus* sp., *Microcystis* sp., *Anabaena* sp., *Gloeocapsa* sp., *Scenedesmus obliquus* y *Glorenkinia* sp.

La inoculación de la cianobacteria *Gloeocapsa* sp., mostró incrementos significativos en la altura de plantas de arroz. La inoculación con las cianobacterias no presentó diferencias significativas con respecto a la fertilización nitrogenada en los tres cultivos lo que representa un ahorro de la fertilización nitrogenada. Estos resultados postulan a *Gloeocapsa* como un potencial biofertilizante para cultivos de arroz y la inoculación de cianobacterias como un sustituto de la fertilización nitrogenada.

Referencias

- Can, S. S., Koru, E. & Cirik, S. (2017). Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Spirulina platensis* and biodiesel production. *Aquaculture International*, 25 (4), 1-9. doi: 10.1007/s10499-017-0121-6
- Dey, H. S., Tayung, K. & Bastia, A. K. (2010). Occurrence of nitrogen-fixing cyanobacteria in local rice fields of Orissa, India. *Ecoprint: An International*

- Journal of Ecology*, 17 (1), 77-85. doi:10.3126/eco.v17i0.4120
- Elbadry, M., Gamal-Eldin, H. & Elbanna, K. (1999) Effects of *Rhodobacter capsulatus* inoculation in combination with graded levels of nitrogen fertilizer on growth and yield of rice in pots and lysimeter experiments. *World J Microbiol Biotechnol*, 15 (3), 393-395. doi: 10.1023/A:1008958832402
- Ernst, A., Deicher, M., Herman, P. M. & Wollenzien, U. I. (2005). Nitrate and phosphate affect cultivability of cyanobacteria from environments with low nutrient levels. *Applied and Environmental Microbiology*, 71 (6), 3379-3383. doi: 10.1128/AEM.71.6.3379-3383.2005
- Gamal-Eldin, H. & Elbanna, K. (2011). Field evidence for the potential of *Rhodobacter capsulatus* as biofertilizer for flooded rice. *Current Microbiology*, 62 (2), 391-395. doi: 10.1007/s00284-010-9719-x
- Garrity, G. M., Bell, J. A., & Lilburn, T. G. (2004). *Taxonomic outline of the prokaryotes. Bergey's manual of systematic bacteriology*. New York, Berlin Heidelberg: Springer.
- Harada, N., Nishiyama, M., Otsuka, S. & Mastumoto, S. (2005). Effects of inoculation of phototrophic purple bacteria on grain yield of rice and nitrogenase activity of paddy soil in a pot experiment. *Soil Sci Plant Nutrition*, 51 (3), 361-367. doi: 10.1111/j.1747-0765.2005.tb00041.x
- Hashtroudi, M. S., Ghassempour, A., Riahi, H., Shariatmadari, Z. & Khanjir, M. (2013). Endogenous auxins in plant growth-promoting Cyanobacteria - *Anabaena vaginicola* and *Nostoc calcicola*. *Journal of applied phycology*, 25 (2), 379-386. doi: 10.1007/s10811-012-9872-7
- Herrero, A. & Flores, E. (2008). *The cyanobacteria: molecular biology, genomics and evolution*. Sevilla, España: Caister Academic Press, Norfolk.
- Innok, S., Chunleuchanon, S., Boonkerd, N. & Teaumroong, N. (2009). Cyanobacterial akinete induction and its application as biofertilizer for rice cultivation. *Journal of Applied Phycology*, 21 (6), 737-744. doi: 10.1007/s10811-009-9409-x
- Jha, M. & Prasad, A. (2006). Efficacy of New Inexpensive Cyanobacterial Biofertilizer Including its Shelf-life. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22 (1), 73-79. doi 10.1007/s11274-005-7024-9
- Karthikeyan, N., Prasanna, R., Nain, L. & Kaushik, B. D. (2007). Evaluating the potential of plant growth promoting cyanobacteria as inoculants for wheat. *European Journal of Soil Biology*, 43 (1), 23-30. doi: 10.1016/j.ejsobi.2006.11.001
- Kennedy, I. R., Choudhury, A. & Kecskés, M. L. (2004). Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology and Biochemistry*, 36 (8), 1229-1244. doi:10.1016/j.soilbio.2004.04.006
- Lin, C. S., Chou, T. L., & Wu, J. T. (2013). Biodiversity of soil algae in the farmlands of mid-Taiwan. *Botanical studies*, 54 (1), 41. doi: 10.1186/1999-3110-54-41

- Linquist, B. A., Liu, L., van Kessel, C., & van Groenigen, K. J. (2013). Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: Meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Research*, 154, 246-254. doi: 10.1016/j.fcr.2013.08.014
- Maqubela, M. P., Mnkeni, P. N. S., Issa, O. M., Pardo, M. T., & D'Acqui, L. P. (2009). Nostoc cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. *Plant and Soil*, 315 (1-2), 79-92. doi: 10.1007/s11104-008-9734-x
- Mishra, U. & Pabbi, S. (2004). Cyanobacteria: A potential biofertilizer for rice. *Resonance*, 9 (6), 6-10. doi: 10.1007/BF02839213
- Obreht, Z., Kerby, N. W., Gantar, M. & Rowell, P. (1993). Effects of root-associated N₂-fixing cyanobacteria on the growth and nitrogen content of wheat (*Triticum vulgare* L.) seedlings. *Biology and fertility of soils*, 15 (1), 68-72. doi: 10.1007/BF00336292
- Pereira, I., Ortega, R., Barrientos, L., Moya, M., Reyes, G. & Kramm, V. (2009). Development of a biofertilizer based on filamentous nitrogen-fixing cyanobacteria for rice crops in Chile. *Journal of applied phycology*, 21 (1), 135-144. doi: 10.1007/s10811-008-9342-4.
- Perfetti, J. J., Escobar, D., Castro, F., Cuervo, B., Rodríguez, M., & Vargas, J. I. (2012). *Costos de producción de doce productos agropecuarios*. Bogotá, Colombia: Fedesarrollo.
- Pires, J. C. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Simões, M. (2012). Carbon dioxide capture from flue gases using microalgae: engineering aspects and biorefinery concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (5), 3043-3053. doi: 10.1016/j.rser.2012.02.055
- Prasanna, R., Jaiswal, P., Singh, Y. & Singh, P. (2009). Influence of biofertilizers and organic amendments on nitrogenase activity and phototrophic biomass of soil under wheat. *Acta Agronomica Hungarica*, 56 (2), 149-159. doi: 10.1556/AAgr.56.2008.2.4
- Prasanna, R., Joshi, M., Rana, A., Shivay, Y. S. & Nain, L. (2012). Influence of co-inoculation of bacteria-cyanobacteria on crop yield and C - N sequestration in soil under rice crop. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28 (3), 1223-1235. doi: 10.1007/s11274-011-0926-9
- Quesada, A., Leganés, F. & Fernández-Valiente, E. (1997). Environmental factors controlling N₂ fixation in Mediterranean rice fields. *Microbial ecology*, 34 (1), 39-48. doi: 10.1007/s002489900032
- Rai, A. K. & Sharma, N. K. (2006). Phosphate metabolism in the cyanobacterium *Anabaena doliolum* under salt stress. *Current microbiology*, 52 (1), 6-12. doi: 10.1007/s00284-005-0043-9
- Rastogi, R. P. & Sinha, R. P. (2009). Biotechnological and industrial significance of cyanobacterial secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 27 (4), 521-539. doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.04.009
- Rodgers, G. A., Bergman, B., Henriksson, E., & Udriș, M. (1979). Utilisation of blue-green algae as biofertilisers. *Plant*

- and Soil*, 52 (1), 99-107 doi: 10.1007/BF02197736
- Rodríguez, A. A., Stella, A. M., Storni, M. M., Zulpa, G. & Zaccaro, M. C. (2006). Effects of cyanobacterial extracellular products and gibberellic acid on salinity tolerance in *Oryza sativa* L. *Saline Systems*, 2 (1), 7-7. doi: 10.1186/1746-1448-2-7
- Saadatnia, H., & Riahi, H. (2009). Cyanobacteria from paddy fields in Iran as a biofertilizer in rice plants. *Plant Soil Environ*, 55 (5), 207-212. doi:10.17221/384-PSE
- Selvi, K. T. & Sivakumar, K. (2012). Distribution of heterocystous cyanobacteria in rice fields of Cuddalore District, Tamil Nadu. *International Journal of Life Sciences and Pharmaceutical Research*, 2 (4), 30-39.
- Shariatmadari, Z., Riahi, H., Seyed Hashtroudi, M., Ghassempour, A. & Aghashariatmadary, Z. (2013). Plant growth promoting cyanobacteria and their distribution in terrestrial habitats of Iran. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59 (4), 535-547. doi: 10.1080/00380768.2013.782253
- Sharma, N. K., Tiwari, S. P., Tripathi, K. & Rai, A. K. (2011). Sustainability and cyanobacteria (blue-green algae): facts and challenges. *Journal of Applied Phycology*, 23 (6), 1059-1081. doi: 10.1007/s10811-010-9626-3
- Singh, S. P., Häder, D. P. & Sinha, R. P. (2010). Cyanobacteria and ultraviolet radiation (UVR) stress: mitigation strategies. *Ageing Research Reviews*, 9 (2), 79-90. doi: 10.1016/j.arr.2009.05.004
- Song, T., Mårtensson, L., Eriksson, T., Zheng, W. & Rasmussen, U. (2005). Biodiversity and seasonal variation of the cyanobacterial assemblage in a rice paddy field in Fujian, China. *FEMS Microbiology Ecology*, 54 (1), 131-140. doi: 10.1016/j.femsec.2005.03.008
- Srivastava, A. K., Bhargava, P., Kumar, A., Rai, L. C. & Neilan, B. A. (2009). Molecular characterization and the effect of salinity on cyanobacterial diversity in the rice fields of Eastern Uttar Pradesh, India. *Saline Systems*, 5 (1), 4-4. doi:10.1186/1746-1448-5-4
- Stihl, A., Sommer, U. & Post, A. F. (2001). Alkaline phosphatase activities among populations of the colonyforming diazotrophic cyanobacterium *Trichodesmium* spp. (cyanobacteria) in the Red Sea. *Journal of Phycology*, 37 (2), 310-317. doi: 10.1046/j.1529-8817.2001.037002310.x
- Thajuddin, N. & Subramanian, G. (2005). Cyanobacterial biodiversity and potential applications in biotechnology. *Current Science*, 89 (2), 47-57.
- Vaishampayan, A., Sinha, R. P., Hader, D. P., Dey, T., Gupta, A. K., Bhan, U., & Rao, A. L. (2001). Cyanobacterial biofertilizers in rice agriculture. *The Botanical Review*, 67 (4), 453-516. doi: 10.1007/BF02857893
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255 (2), 571-586. doi: 10.1023/A:1026037216893
- Watanabe, A. (1962). Effect of nitrogen-fixing blue-green alga: *Tolypothrix tenuis* on the nitrogenous fertility of paddy soil and on the crop yield of rice plant. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 8 (2), 85-91. doi:10.2323/jgam.8.85