

## IMPORTANCIA DE LAS CIANOBACTERIAS EN EL SUELO

### IMPORTANCE OF CYANOBACTERIA IN SOIL

Ing. Iris Mercedes Pintado Alvarez <sup>1</sup>: (0000-0002-7131-2963), Universidad de Matanzas,

[iris.pintado@um.cc.cu](mailto:iris.pintado@um.cc.cu)

#### Resumen

Este trabajo tiene como objetivo dar a conocer la importancia de las cianobacterias en el suelo a través de estudios realizados por varios autores. Estas son el grupo más grande y de mayor distribución de procariotas fotosintéticos que existe sobre la tierra y como grupo se piensa que han logrado sobrevivir en amplio espectro de ambientes. Son muy abundantes en suelos tropicales y en suelos saturados de agua. Algunos autores encontraron que la Costra Biológica del Suelo (CBS) dominada por cianobacterias y cianolíquenes es capaz de fijar cantidades significativas de Nitrógeno atmosférico y hacerlo potencialmente disponible para las plantas vasculares, musgos y microorganismos. Este grupo de bacterias son grandes colonizadores primarios ya que incorporan materia orgánica al suelo y previenen la erosión. Se ha demostrado que contribuyen al mantenimiento de la fertilidad en suelos aneados en el caso del cultivo del arroz a través del proceso de fijación del Nitrógeno.

**Palabras claves:** *cianolíquenes; Costra Biológica del Suelo (CBS); fertilizantes; microorganismos*

---

## Abstract

This work aims to raise awareness of the importance of cyanobacteria in the soil through studies carried out by various authors. These are the largest and most widely distributed group of photosynthetic prokaryotes that exists on earth and as a group they are thought to have managed to survive in a wide spectrum of environments. They are very abundant in tropical soils and in soils saturated with water. Some authors found that the Biological Soil Scab (CBS) dominated by cyanobacteria and cyanolichens is capable of fixing significant amounts of atmospheric Nitrogen and making it potentially available to vascular plants, mosses and microorganisms. This group of bacteria are great primary colonizers since they incorporate organic matter into the soil and prevent erosion. It has been shown that they contribute to the maintenance of fertility in flooded soils in the case of rice cultivation through the nitrogen fixation process.

**Keywords:** *Biological Soil Crust (CBS); cyanolichens; fertilizers; microorganisms*

---

Las cianobacterias son bacterias Gram -negativas capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica. Estos organismos tienen importancia en aspectos relacionados con el ser humano, ya que por ejemplo las especies fijadoras de nitrógeno contribuyen a la fertilidad del suelo y el agua, aunque también en múltiples ocasiones son responsables de disminución de la calidad de las aguas superficiales (Bartram *et al.*, 1999). También son conocidas como cianofíceas, algas verde-azuladas o cianoprocariontes es el grupo de procariontes fotosintéticos más relevante en diversidad y biomasa. Son las únicas bacterias fotosintéticas que poseen clorofila a y que por lo tanto son capaces de desarrollar fotosíntesis oxigénica. Cabe destacar que dentro de las "algas" las cianobacterias conforman el grupo que presenta el menor número de especies (Bisby, 1995)

Las cianobacterias son ubicuas, se han encontrado desde los polos, hasta los desiertos más cálidos. Esto es debido a la gran plasticidad ecológica que presentan (Whitton y Potts, 2000). Este grupo de

algas pueden llegar a dominar el plancton de lagos y océanos tropicales; también son características de otros ecosistemas acuáticos como ríos, fuentes termales etc. Junto con estos ecosistemas acuáticos, también es posible encontrar cianobacterias adaptadas a ambientes terrestres, llegando a ser muy abundantes en suelos tropicales y en suelos saturados de agua por ejemplo en jardines encharcados. Juegan un papel muy importante como colonizadores primarios ya que incorporan materia orgánica al suelo y previenen la erosión. Así mismo son la población dominante en ambientes inhóspitos como cráteres volcánicos, fuentes termales, charcas y lagos alpinos o polares y sistemas lacustres y fluviales altamente contaminados (por vertidos orgánicos o inorgánicos) (Gibson y Smith, 1982). Gracias a la capacidad fijadora de N que presentan algunas cianobacterias, son a menudo los únicos habitantes de aguas extremadamente deficientes en nitrógeno.

En los ambientes terrestres, como hemos indicado con anterioridad las cianobacterias son una parte importante de la microflora. Predominan en los ambientes microaerobios y próximos al pH neutro de los suelos de arrozales anegados (Roger y Kolasooriya, 1980). En los suelos polares de la tundra las cianobacterias abundan con un papel importante como productores primarios e incorporadores de N<sub>2</sub> atmosférico (Oliver y Ganf, 2000). Las rocas de la Antártida son otro medio extremo en el que aparecen las cianobacterias, así como en zonas desérticas junto a líquenes y algas.

Finalmente, hay que destacar que las cianobacterias son capaces de formar relaciones simbióticas con gran cantidad de organismos: hongos, algas verdes, diatomeas, musgos, angiospermas, protozoos, etc. (Whitton y Potts, 2000). En estas asociaciones la cianobacteria excreta amonio para el hospedador, excepto en las asociaciones con hongos (líquenes), en las que aporta glucosa. El hospedador, a cambio le proporciona un sustrato donde desarrollarse y los metabolitos necesarios para el crecimiento. Las cianobacterias simbióticas tienen mayor actividad nitrogenasa y mayor porcentaje de heterocistos que las de vida libre y bajos niveles de glutamina sintetasa enzima necesaria para la incorporación del amonio a los aminoácidos.

Las cianobacterias son el grupo más grande y de mayor distribución de procariontes fotosintéticos que existe sobre la tierra y como grupo se piensa que han logrado sobrevivir en amplio espectro de ambientes de estrés como choques de calor y frío, salinidad, deficiencia de nitrógeno, fotooxidación, desecación, anaerobiosis, estrés a UV y osmótico. Las cianobacterias son únicas en tener una distribución cosmopolita que va desde las pozas termales hasta las regiones árticas. Por lo tanto, las

cianobacterias colonizan océanos, ríos, suelos, pozas termales y también se encuentran en simbiosis con hongos y plantas lo que demanda de una gran variabilidad para adaptarse a factores ambientales diversos. Las cianobacterias son componentes del océano de gran importancia por su diversidad taxonómica, productividad y biogeoquímica. Por otro lado, algunas cianobacterias tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico por lo que forman un componente prominente de poblaciones microbianas de suelos (Ponce, 2014).

#### *La costra biológica de suelo.*

La costra biológica del suelo (CBS) actúa como una manta horizontal, agregando y adhiriendo partículas finas del suelo mineral (Belnap y Lange, 2003). Esta acción se debe fundamentalmente a la producción de polisacáridos por parte de las cianobacterias principalmente, aunque los musgos y los líquenes también juegan cierto papel en dicho proceso (Belnap y Gardner, 1993). Así, la CBS constituye el soporte inicial para que los microorganismos del suelo inicien una buena colonización (Toledo, 2006); estos microorganismos se entremezclan con los componentes de la CBS y con partículas de sedimento, que son atrapadas o precipitadas por dichos componentes (Hu *et al.*, 2003, Toledo, 2006). A medida que las colonias de cianobacterias van creciendo y extendiéndose sobre la superficie calcárea que ellas mismas van formando, precipitan carbonatos (De los Ríos *et al.*, 2004), cuya formación se ha sugerido que promueve el desarrollo de condiciones adecuadas para el establecimiento de los briofitos (Toledo y Urbina de Navarro, 2008). Belnap *et al.* (2008) encontraron una buena relación entre la CBS y la estabilidad del suelo, mientras que Bowker *et al.*, (2008) demostraron que la clorofila, usada como indicador de biomasa total en comunidades de CBS dominadas por cianobacterias, es un buen indicador de estabilidad del suelo. De hecho, la cobertura total de CBS ha sido empleada con éxito como indicador de dicha estabilidad a distintas escalas espaciales (Chaudhary *et al.*, 2009). Sin embargo, Maestre *et al.*, (2005) no encontraron una relación significativa entre la cobertura total de los líquenes formadores de la CBS y la estabilidad de agregados del suelo, debido quizás al diferente tipo de suelo y a la poca abundancia de cianobacterias presente en su área de estudio. Al igual que ocurre con variables como la infiltración, el aumento de la estabilidad del suelo causado por la CBS depende del tipo de organismos que la forman. Así, Jiménez-Aguilar *et al.*, (2009) encontraron que la CBS dominada por líquenes y por cianobacterias (0,5-1 mm de grosor) presentaron mayores valores de estabilidad del suelo en el

primer mm de profundidad que el suelo desnudo y la CBS dominada por cianobacterias (< 0,5 mm de grosor) en una zona semiárida de México.

#### *Fijación y otras transformaciones del nitrógeno.*

El N atmosférico ( $N_2$ ) no está fácilmente disponible para las plantas vasculares, siendo necesaria su fijación y posterior reducción a amonio ( $NH_4^+$ ) por cianobacterias, cianolíquenes u organismos procariotas como bacterias heterótrofas (West y Skujins, 1977).

La CBS dominada por cianobacterias y cianolíquenes es capaz de fijar cantidades significativas de N atmosférico y hacerlo potencialmente disponible para las plantas vasculares, musgos y microorganismos (Veluchi *et al.*, 2006). Zaady *et al.*, (1998) sugirieron que la CBS podría ser el puente entre la atmósfera y las manchas discretas de vegetación en la transformación del N.

Se ha descrito que más del 80 % del N fijado por cianobacterias y cianolíquenes es liberado al suelo en cuestión de minutos a horas, estando disponible para los microorganismos asociados o las plantas (Belnap, 2002).

#### *Ciclo del carbono.*

Thomas *et al.*, (2008) encontraron que durante el humedecimiento del suelo en la estación seca hubo una rápida toma de  $CO_2$  atmosférico por parte de las cianobacterias fotosintetizadoras de la CBS, mientras que en la estación húmeda la respiración fue positiva independientemente del tipo de cobertura o del humedecimiento, con pérdidas netas de  $CO_2$  de los suelos.

Belnap y Lange, (2003) estimaron que cerca del 50 % del C fijado durante la fotosíntesis es rápidamente secretado al suelo por cianobacterias, resultando en un incremento de 300 % de C orgánico en el suelo.

#### *Interacciones entre la costra biológica y organismos del suelo.*

El estudio de la biodiversidad e importancia ecológica de las bacterias asociadas a la CBS ha despertado un gran interés durante la última década (García-Pichel *et al.*, 2001; 2003; Johnson *et al.*, 2005; Gundlapally y García-Pichel 2006). Debido a que las bacterias son las encargadas de mediar en los procesos de reciclaje de nutrientes y la descomposición de materia orgánica, no es de extrañar que el estudio y la caracterización de las comunidades bacterianas proporcione información clave sobre los factores que determinan el mantenimiento de las características funcionales de las regiones áridas y semiáridas (García-Pichel *et al.*, 2001). Nagy *et al.* (2005) y Gundlapally y García-

Pichel (2006) coincidieron al encontrar que las cianobacterias fueron los microorganismos asociados a la CBS más abundantes en el desierto de Sonora y en la Meseta del Colorado (Estados Unidos), respectivamente.

#### *Cianobacterias en el cultivo del arroz.*

Las cianobacterias constituyen un grupo de procariotas cuyo desarrollo se produce en un amplio rango de ecosistemas (Chunleuchanon *et al.*, 2003), y componen uno de los principales grupos de la microbiota que se desarrolla en los campos destinados al cultivo de arroz. Numerosos estudios han descrito ampliamente el rol de este grupo de microorganismos en el mantenimiento de la fertilidad, a través del proceso de fijación biológica de nitrógeno, de los suelos arroceros inundados o irrigados (Quesada y Fernández-Valiente, 1996; Jha *et al.*, 2001; Prasanna y Nayak, 2007).

El desarrollo y actividad de las cianobacterias en las condiciones generadas por el crecimiento del arroz se ven afectados por factores bióticos tales como la predación de larvas o el zooplancton, y factores abióticos como la temperatura, el pH del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la luz (Ruschel y Pontes, 1992). Sánchez *et al.* (2007) señalan la influencia de la temperatura del agua sobre el número de cianobacterias totales en arrozceras que son inundadas con agua subterránea. Estos autores mencionan que cuando la temperatura del agua de inundación fue mayor, se encontraron mayores recuentos de cianobacterias en los estadios panoja embuchada y madurez fisiológica. Asimismo, una mayor temperatura del agua se correspondió con una mayor proporción de cianobacterias unicelulares

Los estudios de Quesada y Fernández-Valiente (1996), Rincón *et al.* (2003) y Chunleuchalon *et al.*, (2003) manifiestan que la diversidad de las especies nativas de cianobacterias en campos en los que se cultiva arroz cambia a lo largo del ciclo del cultivo y luego de finalizado el mismo, como consecuencia de la variación de las condiciones ambientales, por lo cual la estructura de la comunidad se va modificando con los estadios fenológicos del arroz. En general, los autores encontraron que algunas especies de cianobacterias se las encuentra en mayor cantidad y frecuencia porque tienen una mejor adaptación a las condiciones predominantes del medio: temperatura, intensidad de luz y concentración de fósforo y nitrógeno (Rincón *et al.*, 2003).

La comparación de los recuentos de cianobacterias en la etapa de macollaje en el cultivo del arroz, en suelo y agua realizada por Sánchez *et al.* (2011) mostró que el número de estos microorganismos

en suelo fueron en promedio 76 % mayor que en agua, lo que es similar a lo mencionado por Quesada y Fernández-Valiente (1996) quienes encontraron en agua una proporción de cianobacterias es un 80 % mayor respecto a la encontrada en suelo después de inundado el cultivo. En este sentido, los resultados sugieren que debido al sistema de cultivo empleado en los arrozales (siembra y posterior inundación del lote) las cianobacterias recontadas en las muestras de agua comienzan su desarrollo en el suelo, pero su ciclo vital pasa por una fase planctónica superando la cantidad de estos microorganismos a lo determinado en suelo. La evolución de los recuentos de cianobacterias en suelo exhibió mayor fluctuación que en agua (Sánchez *et al.*, 2011).

*Desarrollo de biofertilizantes a base de cianobacterias para ser utilizados en el cultivo del arroz.*

Una estrategia para aumentar la competitividad del sector arrocero es la incorporación de biofertilizantes de cianobacterias. Esta estrategia es ambientalmente amigable ya que permite reducir la aplicación de fertilizantes nitrogenadas hasta en un 50% (Prasanna *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2009), aumentar la asimilación de nutrientes en la planta, incrementar entre el 15-20 % la producción de grano de arroz bajo condiciones de campo (Innok *et al.*, 2009) y mejorar la calidad del suelo así como lo mencionan Jha y Prasad (2006) y Roger y Kulasooriya (1980). Igualmente, el uso de cianobacterias permite la captación de gases de invernadero como el CO<sub>2</sub> y la producción de O<sub>2</sub> (Herrero y Flores, 2008) y hacer bioprospección de nuestros recursos biológicos. Esta estrategia aún no ha sido implementada como una alternativa del manejo de la fertilización en este cultivo a pesar de los numerosos reportes en países asiáticos como lo plantea Hashem (2001) y algunos países de Suramérica (Pereira *et al.*, 2009).

Sharma *et al.* (2011), plantea que el potencial de las cianobacterias como biofertilizantes en arroz obedece a su capacidad para fijar N<sub>2</sub> (síntesis de azúcares por fijación de CO<sub>2</sub>, producir una gran variedad de metabolitos secundarios como vitaminas, antibióticos y antifúngicos, múltiples mecanismo de promoción como la solubilización de fósforo) (Rai y Sharma, 2006), producción de sideróforos y reguladores de crecimiento (Prasanna *et al.*, 2008), mínimos requerimientos nutricionales para su crecimiento, rápidas tasas de crecimiento y exigentes condiciones de luminosidad como las del trópico (Herrero y Flores, 2008), alta competitividad por la tolerancia a altas temperaturas, radiación UV, desecación, estrés salino y hídrico, lo que le permite mantener una alta diversidad y abundancia en agroecosistemas como el arroz. Mishra y Pabbi (2004)

aseguran que incluso, la aplicación de cianobacterias de forma consecutiva permite mejorar la calidad del suelo y el establecimiento de estas en cultivos como el arroz.

Según García *et al.* (2005) las cianobacterias pueden actuar como:

- ✓ Biofertilizantes de arrozales, por inoculación con helechos flotantes como *Azolla* conteniendo la cianobacteria *Anabaena* la cual proporciona una fijación simbiótica de nitrógeno.
- ✓ Bioestimulantes obtenidos de extractos líquidos de *Spirulina* o de microalgas.
- ✓ Estructurador de suelos, por aplicación de microalgas vivas.
- ✓ Biofertilizante, por inoculación al suelo de cianobacterias fijadoras de nitrógeno de manera no simbiótica.

Las técnicas de fertilización empleando cianobacterias más conocidas en el mundo son dos: la simbiosis *Azolla* - *Anabaena* y con cianobacterias vivas inoculadas al suelo. En 1972, Venkataraman denominó a esta técnica algalización, basada en la inoculación de cianobacterias fijadoras de nitrógeno.

Se conoce que los agregados de cianobacterias, contribuyen a cementar los suelos convirtiéndola en una capa que resiste al viento y la fuerza de arrastre del agua; proporcionan una excelente retención de la humedad y son una fuente de materia orgánica. En suelo descubierto de vegetación las cianobacterias ayudan a la protección y estabilización de agregados disminuyendo la erosión de suelos. Son de gran importancia ecológica, ya que actúan como colonizadoras de suelos quemados, erosionados y degradados donde se desarrollan a partir de sales, agua y luz (Iglesias y Montero, 2005). Según Videla *et al.* (2018) las cianobacterias constituyen fundamentales la CBS ya que sintetizan clorofila *a*, ficobilinas y fijan nitrógeno (N) atmosférico, representando una de las fuentes principales de N para alguno de los ecosistemas áridos. Estas a su vez, empleadas como biofertilizantes incrementan el contenido de materia orgánica y disminuyen la acidez de los suelos (Reyes *et al.*, 2019).

#### Referencias bibliográficas

Bartram, J., Carmichael W.W., Chorus, I., Jones, G., y Skulberg O. M. (1999). *Introduction. Toxic cyanobacteria in water*. London.

- Belnap, J. y Gardner, J. S. (1993). Soil Microstructure In Soils Of The Colorado Plateau: The Role Of The Cyanobacterium *Microcoleus Vaginatus*. *Great Basin Naturalist*, 53, 40-47
- Belnap, J. y Lange, O. L. (2003). *Biological soil crust: structure, function, and management*. Springer-verlag, Berlin.
- Belnap, J. (2002). Nitrogen fixation in biological soil crust from southeast Utah, USA. *Biology and fertility of soils*, 35, 128-135.
- Belnap, J., Phillips, S. L., Flints, S., Money, J. y Caldwell, M. (2008). Global change and biological soil crusts: effects of ultraviolet augmentation under altered precipitation regimes and nitrogen additions. *Global change biology*, 14, 670-686.
- Bisby, T. A. (1995). *Characterization of biodiversity. Global biodiversity assessment. Theywood vh, y watson rt*. Cambridge university press, Cambridge.
- Bowker, M. A., Belnap, J., Chaudhary, V. B. y Johnson, N.C. (2008). Revisiting classic water erosion models in dryland: the strong impact of biological soil crust. *Soil biology and biochemistry*, 40, 2308-2316.
- Chaudhary, V. A., Bowker, M. A., Johnson, N. C. (2009). Untangling The Biological Contributions To Soil Stability In Semiarid Shrublands. *Ecological applications*, 19, 110-122.
- Chunleuchanon, S., Sooksawang, A., Teaumroong, N. y Boonkerd, N. (2003). Diversity Of Nitrogen-Fixing Cyanobacteria Under Various Ecosystems Of Thailand: Population Dynamics As Affected By Environmental Factors. *World Microbiol Biotechnol*, 19 (2), 167-173.
- Corvalán-Videla, M. E., Taboada, M. De Los A. y Aranibar, J. N. (2018). Diversidad de cianobacterias en costras biológicas de suelo de la ecorregión del monte central (Mendoza, Argentina). *Lilloa* 55 (2), 30-46.
- De Los Ríos, A., Ascaso, C., Wierzchos, J., Fernández, V. y Quesada A. (2004). Microstructural Characterization Of Cyanobacterial Mats From The Mcmurdy Ice Shelf, Antarctica. *Applied And Environmental Microbiology*, 70, 569-580.
- García, A., Gilchrist-Saavedra, L. G., Fuentes-Dávila, C., Martínez-Cano, R. M., López-Atilano, E., Duveiller, R. P., Singh, M. y Henry E. I. (2005). *Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada*. Segunda edición. México, D.F.: CIMMYT.

- García-Pichel, F., Johnson, S., Youngkin, D. y Belnap J. (2003). Small-Scale Vertical Distribution Of Bacterial Biomass And Diversity In Biological Soil Crust From Arid land in the colorado plateau. *Microbial ecology*, 46, 312-321.
- García-Pichel, F., López-Cortez, A. y Nübel U. (2001). Phylogenetic And Morphological Diversity Of Cyanobacteria In Soil Desert Crusts From The Colorado Plateau. *Applied And Environmental Microbiology*, 67, 1902-1910.
- Gibson, C. E. y Smith, R. (1982). *The biology of the cyanobacteria*. Blackwell Scientific, Oxford. Gundlapally, S. R. y García-Pichel, F. (2006). The community and phylogenetic diversity of biological soil crusts in the colorado plateau studied by molecular fingerprinting and intensive cultivation. *Microbial ecology*, 52, 345-357.
- Hashem, M.A. (2001). Problems and prospects of cyanobacterial biofertilizer for rice cultivation. *Australian journal of plant physiology*, 28, 881- 888.
- Herrero, A. y Flores, E. (2008). *The cyanobacteria: molecular biology, genomics and evolution*. Caister academic press, Norfolk.
- Hu, C., Zhang, D., Huang, Z. y Liu, Y. (2003). The vertical microdistribution of cyanobacteria and green algae within desert crusts and the development of the algal crusts. *Plant and soil*, 257, 97-111.
- Innok, S., Chunchuanon, S., Boonkerd, N. y Teamroong, N. (2009). Cyanobacterial akinete induction and its application as biofertilizer for rice cultivation. *Journal of applied phycology*, 21, 737-744.
- Jha, M. N., Prasad, A. N., Sharma, S. G. y Bharati, R. C. (2001). Effects of fertilization rate and crop rotation on diazotrophic cyanobacteria in paddy field. *World J. Microbiol Biotechnol.*, 17 (5), 463-468.
- Jiménez, A., Huber-Sannwald, E., Belnap, J., Smart, D. R. y Arredondo, T. (2009). Biological soil crusts exhibit a dynamic response to seasonal rain and release from grazing with implications for soil stability. *Journal of arid environments*, 73, 1158-1169.
- Johnson, S. L., Charles, R., Budinoff, C. R., Belnap, J. y García-Pichel, F. (2005). Relevance of ammonium oxidation within biological soil crust communities. *Environmental microbiology*, 7, 1-12.
- Maestre, F. T., Escudero, A., Martínez, I., Guerrero, C. y Rubio A. (2005). Does spatial pattern matter to ecosystem functioning? Insights from biological soil crusts. *Functional ecology*, 19, 566-573.
- Mishra, U. y Pabbi, S. (2004). Cyanobacteria: a potential biofertilizer for rice. *Resonance*, 9, 6-10.

- Nagy, M., Pérez A. y García-Pichel, F. (2005). The prokaryotic diversity of biological soil crust in sonoran desert (organ pipe cactus national monument, az). *Fems microbial ecology*, 54, 233-245.
- Oliver, R.L. y Ganf, G. G. (2000). *Freshwater blooms. The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space* (ed: whitton ba, y potts m). Kluwer academic publishers. Dordrecht.
- Pereira, I., Ortega, R., Barrientos, L., Moya, M., Reyes, G. y Kramm, V. (2009). Development of a biofertilizer based on filamentous nitrogen-fixing cyanobacteria for rice crops in Chile. *Journal of applied phycology*, 21, 135-144.
- Prasanna, R., Jaiswal, P., Singh, Y. V. y Singh P. K. (2008). Influence of biofertilizers and organic amendments on nitrogenase activity and phototrophic biomass of soil under wheat. *Acta Agron Hung*, 56, 149-159.
- Prasanna, R., Joshi, M., Rana, A., Shivay, Y. y Nain L. (2012). Influence of coinoculation of bacteria-cyanobacteria on crop yield and c-n sequestration in soil under rice crop. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1223-1235.
- Prasanna, R. y Nayak S. (2007). Influence of diverse rice soil ecologies on cyanobacterial diversity and abundance. *Wetlands Ecol Manage.*, 15 (2), 127-134.
- Quesada, A. y Fernández-Valiente, E. (1996). Relationship between abundance of N<sub>2</sub>-fixing cyanobacteria and environmental features of Spanish rice fields. *Microb Ecol.*, 32 (1), 59-71.
- Rai, A.K. y Sharma, N. K. (2006). Phosphate metabolism in the cyanobacterium *Anabaena doliolum* under salt stress. *Current Microbiology*, 52, 6-12.
- Reyes, B. M., Palacio, M. C., Hernández, P., Robles, J., Correa, G. y Bermúdez B. (2019). Uso potencial de cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 10 (1), 13-27
- Rincón, A., Prósperi, C., Fernández-Valiente E. (2003). Fijación de nitrógeno en la cianobacteria *Chroococcus limneticus* y su relación con la actividad superóxido dismutasa. *Rev. Cienc. Tecnol.*, 8, 115-123.
- Roger, P.A. y Kulasooriya, S.A. (1980). *Blue-green algae and rice*. International Rice Research Institute: Los Baños. Philippines.

- Ruschel, A. y Pontes, M. (1992). Fixação biológica da nitrogenio por microorganismos assimbióticos. En: Cardoso, E., Tsai S. y Neves M. C. (eds.). *Microbiologia do solo*. (págs. 181-200) Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, Brasil.
- Sánchez, C. I., Benintende, S. M. y Benintende, M. C. (2011). Cianobacterias en diferentes estadios fenológicos del cultivo de arroz en entre ríos (Argentina). *Ci suelo. Argentina*, 29 (2), 181-189.
- Sánchez, C. I., Benintende, S. M. y Benintende, M. C. (2007). Comunidad de cianobacterias durante el ciclo de cultivo de arroz (*Oriza sativa* L). *Ci suelo*, 25 (1), 1-6.
- Sharma, N., Tiwari, S., Tripathi, K. y Rai, A. (2011). Sustainability and cyanobacteria (blue-green algae): facts and challenges. *Journal of Applied Phycology*, 23, 1059-1081.
- Thomas, A. D., Hoon, S. R. y Linton, P. E. (2008). Carbon dioxide fluxes from cyanobacteria crusted soils in the kalahari. *Applied Soil Ecology*, 39, 254-263.
- Toledo V. (2006). Caracterización de la costra microbiótica y su influencia biológica y física en suelos de la región árida de Quibor, Estado Lara. Tesis doctoral. Universidad Central de Venezuela.
- Toledo. V. y Urbina-De Navarro, C. (2008). Estudio preliminar de la influencia de la costra microbiótica en los suelos de Quíbor, Estado Lara, Venezuela, mediante microanálisis de rayos x (eds). *Acta Microscópica*, 17, 77-84.
- Veluchi, R. M., Neher, D. A. y Weicht, T. R. (2006). Nitrogen fixation and leaching of biological soil crust communities in mesic temperate soils. *Microbial Ecology*, 51, 189-196.
- West, N. E. y Skujins J. (1977). The nitrogen cycle in north america cold winter semi-desert ecosystems. *Oecologia Plantarum*, 12, 45-53.
- Whitton, B. A. y Potts, M. Y. (2000). *Freshwater blooms. In: whitton ba and potts m (eds) the ecology of cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Zaady, E., Groffman, P. y Shachak M. (1998). Nitrogen fixation in macro- and microphytic patches in the negev desert. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 449-454.