

Evaluación del uso de cianobacterias nativas como biofertilizantes en cultivos de *Zea mays* L

Murialdo, Raquel¹, Daga, I. Claudia², Pesci, Hugo¹, Palmero, Francisco³ y Hang, Susana³

¹ Departamento de Producción Gestión y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Avenida. Vélez Sarsfield 299, (5000) Córdoba Argentina.

² Departamento de Diversidad Biológica y Ecología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Avenida. Vélez Sarsfield 299, (5000) Córdoba Argentina

³ Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Av. Ing. Agr. Félix Aldo Marrone N°746, (5000) Córdoba Argentina.

Fecha de recepción del manuscrito: 10/02/2022

Fecha de aceptación del manuscrito: 27/04/2022

Fecha de publicación: 30/04/2022

Resumen- Algunas cianobacterias tienen la propiedad de reducir el nitrógeno atmosférico a través del proceso conocido como fijación biológica de nitrógeno. El objetivo del trabajo fue evaluar el potencial uso como biofertilizante de un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno adaptadas a los suelos agrícolas de la Provincia de Córdoba en el cultivo de *Zea mays* L. Para lo cual, se realizó el aislamiento y obtención de cultivos masivos de consorcios de cianobacterias edáficas, a partir de suelos agrícolas de la Provincia de Córdoba seleccionados, los cuales se conformaron con las siguientes especies: *Scytonema bonheri*, *Nostoc commune*, *N. edaphicum*, *N. muscorum*, *N. calcicola* y *Desmonostoc muscorum*. A partir de estos consorcios se prepararon emulsiones líquidas para ser aplicados en los cultivos. Los ensayos controlados en cultivos de *Zea mays* L. se realizaron considerando tres tratamientos: con fertilización química, con consorcio de cianobacterias y con fertilización química y consorcio de cianobacterias. Los resultados obtenidos, al considerar las variables de desarrollo, muestran que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con fertilización química y con el consorcio de cianobacterias utilizado. En relación a las condiciones de fertilidad del suelo al final del ensayo, los máximos valores de nitrato y fósforo se obtuvieron en el tratamiento con consorcios de cianobacterias. La comunidad de cianobacterias al final del ensayo conservó 3 de las 6 especies que conformaron el consorcio inicial, todas del género *Nostoc*. Estos resultados, permitirán avanzar en el conocimiento sobre el potencial de las cianobacterias como mejoradoras de suelo agrícolas y su utilización como biofertilizantes para alcanzar rendimientos productivos similares a los obtenidos por la aplicación de fertilizantes químicos.

Palabras clave— consorcios de cianobacterias, suelos agrícolas, fertilizante, *Nostoc*

Abstract— Some cyanobacteria have the property of reducing atmospheric nitrogen through the process known as biological nitrogen fixation. The objective of the work was to evaluate the potential use as biofertilizer of a consortium of nitrogen-fixing cyanobacteria adapted to the agricultural soils of the Province of Córdoba in the cultivation of *Zea mays* L. First, the isolation and obtaining of massive cultures of consortiums of edaphic cyanobacteria, from selected agricultural soils of the Province of Córdoba, which were made up of the following species: *Scytonema bonheri*, *Nostoc commune*, *N. edaphicum*, *N. muscorum*, *N. calcicola* and *Desmonostoc muscorum*. From these consortia, liquid emulsions were prepared to be applied to crops. The controlled trials in cultures of *Zea mays* L. were carried out considering three treatments: with chemical fertilization, with a consortium of cyanobacteria and with chemical fertilization and a consortium of cyanobacteria. The results obtained, when considering the development variables, show that there are no significant differences between the treatments with chemical fertilization and with the cyanobacterial consortium used. In relation to the soil fertility conditions at the end of the trial, the maximum values of nitrate and phosphorus were obtained in the treatment with cyanobacteria consortia. The cyanobacterial community at the end of the trial conserved 3 of the 6 species that made up the initial consortium, all of the genus *Nostoc*. These results will make it possible to advance in the knowledge about the potential of cyanobacteria as agricultural soil improvers and their use as biofertilizers to achieve productive yields similar to those obtained by the application of chemical fertilizers.

Keywords— cyanobacteria consortiums, agricultural soils, fertilizer, *Nostoc*

INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias constituyen un grupo muy diverso de organismos procariontes pertenecientes al dominio Bacteria. Se trata de un grupo presente en la Tierra desde el comienzo del Precámbrico, hace unos 3500 millones de años y fueron los responsables de crear la atmósfera oxidante que hoy conocemos mediante la fotosíntesis (Whitton y Potts, 2000). Constituyen un grupo de organismos con capacidad de reducir el nitrógeno

Dirección de contacto:

Raquel Murialdo, Arturo Illia N°640. (X5186XAJ) Alta Gracia. Córdoba.
Teléfono 5493833551, E-mail: raquelmurialdo@gmail.com.

atmosférico a una forma biodisponible a través del proceso conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) (Aguilera y Echenique, 2011). En la actualidad, se han desarrollado avances biotecnológicos que dan a conocer su potencial en diversas áreas, convirtiéndose así en microorganismos con elevado valor económico (Singh *et al.*, 2017).

Las cianobacterias además de fijar N son capaces de producir reguladores de crecimiento como auxinas tipo ácido indolacético (Prasanna *et al.*, 2012), citoquininas y giberelinas (Rodríguez *et al.*, 2006). Por otra parte, se han reportado estudios, en distintos trabajos, que contribuyen en el proceso de conversión de formas de fósforo insolubles a formas asimilables por las plantas (Sahu *et al.*, 2012; Khadatare y Suryawanshi, 2016).

Es conocido el rol de las cianobacterias como colonizadores de suelos quemados, erosionados y degradados, permitiendo la protección y estabilización de los mismos (Nisha *et al.*, 2007; Denegri *et al.*, 2021). Es así que se utilizan en suelos con el propósito de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, su aplicación mejora la estructura, la textura y la permeabilidad del suelo, mejorando el drenaje y la aireación (Saurabh y Kumar, 2014) como también intervienen en el impedimento de la pérdida de agua por evaporación (Castillo-Monroy, 2011). En cuanto a las propiedades químicas del suelo, constituyen uno de los grupos responsables del aumento de su poder de absorción y de la reducción de las variaciones de pH, lo que permite mejorar la capacidad de intercambio catiónico, aumentando la fertilidad de los sustratos (Mohan *et al.*, 2015, Alghanmi y Jawad, 2019).

Considerando el concepto de Obid *et al.* (2016) quien define a los biofertilizantes como sustancias compuestas por microorganismos vivos que pueden aplicarse directamente en las semillas, sobre la superficie de plantas o del suelo, que colonizan la rizosfera o el interior de las plantas y promueven el crecimiento por favorecer el aporte o la viabilidad de nutrientes primarios y que la biofertilización además de coadyuvar en la nutrición y sanidad de los cultivos, ayuda a una producción agrícola sostenible (Díaz-Franco *et al.*, 2015, Syiem *et al.*, 2019, Song *et al.*, 2021). El uso de cianobacterias como biofertilizantes para cultivos de maíz se posiciona como una alternativa ambientalmente positiva, que su utilización permitiría la reducción de fertilizantes químicos.

El objetivo del trabajo fue evaluar el potencial uso como biofertilizante de un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno adaptadas a los suelos agrícola de la provincia de Córdoba en el cultivo de *Zea mays* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de los consorcios de cianobacterias

Los consorcios de cianobacterias se obtuvieron a partir de la selección de 8 suelos agrícolas de la provincia de Córdoba (S1: 31°38'37.07"S y 65° 6'20.81"O; S2: 32° 1'16.91"S y 65°21'25.47"O; S3: 31°39'50.00"S y 64°22'39.31"O; S4: 31°38'53.83"S y 64°20'36.55"O; S5: 30°44'39.41"S y 61°51'4.83"O; S6: 61°51'4.83"O y 61°53'59.55"O; S7: 33°14'26.02"S y 64° 9'16.40"O y S8: 33°22'5.59"S y 63°43'36.48"O) y que se corresponden a

tres zonas definidas por Giannini *et al.* (2017) los cuales fueron caracterizados en sus parámetros físico-químicos y de fertilidad.

A partir de los suelos seleccionados, se colocaron 10 g de cada suelo en cajas de Petri esterilizadas regadas con 15 mL de medio líquido para incubarse en cámara de cultivo a 25±-2°C con una alternancia de 12 h de luz - 12 h de oscuridad a una intensidad de 4.500 a 5.000 luxes (Rippka *et al.*, 1979). Los cultivos se controlaron cada 7 días, durante un período de 9 semanas. Los diferentes taxones de cianobacterias fueron observados con microscopio óptico Leica DM 500 a 40X y 100X.

Desde la 6ª semana de crecimiento se realizaron repiques de cultivo en medio líquido. Las muestras se colocaron en Erlenmeyer esterilizados, a partir de 80 mL de cantidad inicial, necesaria para comenzar los crecimientos en iguales condiciones de temperatura y luz que los cultivos primarios. Se obtuvieron las emulsiones de consorcios de cianobacterias heterocistadas: *Scytonema bonheri*, *Nostoc commune*, *N. edaphicum*, *N. muscorum*, *N. calcicola* y *Desmonostoc muscorum* (Fig. 1) con concentración de densidad celular 9×10^7 cel/mL. La identificación se realizó utilizando el sistema de clasificación: Kőmárek y Anagnostidis (1998; 2005), Kőmárek y Hauer (2012) y Kőmárek *et al.* (2013, 2014).

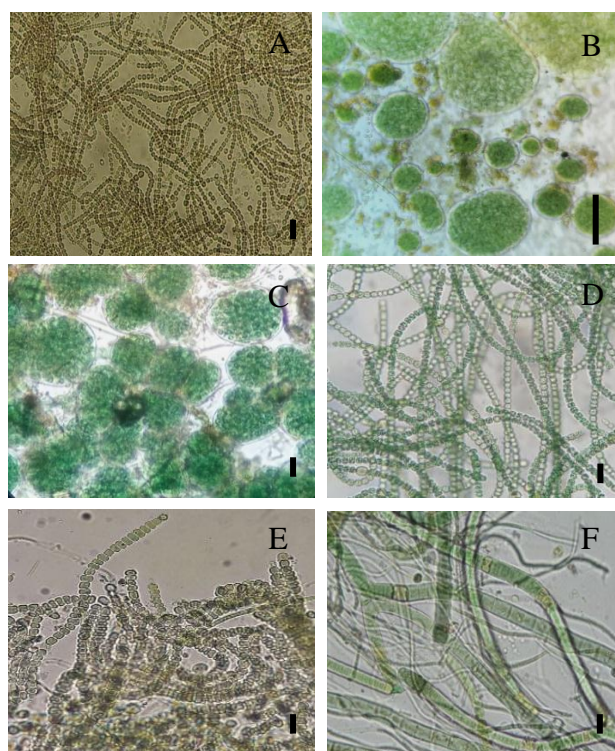


Fig. 1: Cianobacterias heterocistadas que formaron parte de los consorcios. A: *Nostoc calcicola* B: *N. commune*, C: *N. edaphicum*, D: *N. muscorum*, E: *Desmonostoc muscorum*, F: *Scytonema bonheri*

Ensayo en invernadero

La evaluación del comportamiento y eficacia agronómica del biofertilizante se realizó en *Zea mays* L. (maíz híbrido) Triple PRO ACCELERON, LOTE TE1150710N.

Suelo utilizado en el ensayo

El suelo utilizado para los cultivos corresponde a un suelo franco limoso del área agrícola de la provincia de Córdoba caracterizado en los siguientes parámetros: CO: 1,86 g/kg; %MO:3,2; % Nt: 0,149; P: 35,3 ppm; N-NO₃: 16,7 ppm; pH:5,9; Relación C:N: 12,5; S -SO₄²⁻: 7,5 ppm; Cationes intercambiables (meq/100g): Ca²⁺: 12,5; Mg²⁺: 1,5; Na⁺: 0,07 y K⁺: 1,73 y PSI (Na/S): 0,4. Conductividad Eléctrica (CE): 0,6 dS/m.

El suelo fue esterilizado en autoclave a los efectos de eliminar microorganismos presentes en el suelo (1,1 Kg/cm², 121°C y 20 minutos).

Diseño experimental y condiciones de cultivo

Los tratamientos consistieron en la aplicación de los consorcios de cianobacterias (*Noctoc commune*, *N. edaphicum*, *N. muscorum*, *N. calcicola*, *Desmonostoc muscorum* y *Scytonema bonheri*) y de fertilizante químico (nitrógeno). Los tratamientos fueron: con cianobacteria (Cy), con nitrógeno (N) y con cianobacteria y nitrógeno (CyN). Por cada tratamiento se sembraron un total de 10 macetas de 5 L. La siembra se realizó a razón de cinco semillas por recipiente; transcurridos los 10 días posterior a la emergencia se hizo el raleo dejando sólo una planta por maceta (Fig. 2).

Previo a la siembra las semillas fueron desinfectadas con alcohol al 70 % y lavadas con agua destilada estéril. Se colocaron las semillas a una profundidad de 5 cm y se cubrieron con sustrato. La siembra se realizó en la primavera del año 2020.

En los tratamientos con fertilización química (N) se aplicó Nitrocomplex a razón de 70 kg·ha⁻¹ (21,5 ppm de nitrógeno disponible como Nitrato) al momento de la siembra. En el caso de los consorcios de cianobacterias fueron aplicados de forma directa sobre el sustrato cobertor de la semilla sembrada, en este caso se realizaron dos aplicaciones (al momento de la siembra y a los 7 días de la emergencia de la plántula) con 50 ml del mismo consorcio y una densidad celular 9x10⁷ cel/mL en cada aplicación.

El riego se controló diariamente, reponiendo el volumen de agua necesario para compensar la pérdida por evapotranspiración, obtenida mediante la variación del peso de los recipientes.

Evaluación de la eficiencia agronómica de los tratamientos

Se consideraron las siguientes variables en la evaluación: a) Variables de desarrollo: porcentaje de emergencia, longitud de la planta y número de hojas. b) Variables destructivas: a partir del día 100 del ensayo: longitud final de las plantas, longitud de la raíz y porcentaje de materia seca. d) Caracterización del suelo: Se tomaron las muestras de suelo de cada maceta ensayada para las determinaciones de parámetros de fertilidad y el análisis de la comunidad de cianobacterias presentes al final del ensayo.

Para el análisis estadístico se usó el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2021) se realizaron análisis multivariado y ANAVA.



Fig. 2: A: muestreador pico tacho; B: cámara de cultivo; C: cultivo en crecimiento de los consorcios de cianobacterias; D-E: crecimiento de las plantas; F-G: mediciones.

Evaluación de la eficiencia agronómica de los tratamientos

Se consideraron las siguientes variables en la evaluación: a) Variables de desarrollo: porcentaje de emergencia, longitud de la planta y número de hojas. b) Variables destructivas: a partir del día 100 del ensayo: longitud final de las plantas, longitud de la raíz y porcentaje de materia seca. d) Caracterización del suelo: Se tomaron las muestras de suelo de cada maceta ensayada para las determinaciones de parámetros de fertilidad y el análisis de la comunidad de cianobacterias presentes al final del ensayo.

Para el análisis estadístico se usó el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2021) se realizaron análisis multivariado y ANAVA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la evaluación de la eficiencia agronómica en los distintos tratamientos se obtuvieron los siguientes resultados:

Variables de desarrollo del cultivo

Al considerar estas variables (Tabla 1) se obtuvo un 100% de emergencia de las semillas sembradas en los tratamientos con N y con Cy; en tanto ese porcentaje disminuyó en el tratamiento con CyN. El mayor número de hojas desarrolladas, en el tiempo de ensayo, se observó en los tratamientos con N y con Cy con 7 hojas desarrolladas. Respecto a la altura promedio obtenido en el tiempo de estudio la máxima fue en el tratamiento con Cy (96,55 cm) y el menor valor se obtuvo en el tratamiento CyN (21,38 cm). Hernández-Reyes *et al.* (2019) obtuvieron resultados similares, al evaluar variables de desarrollo, al comparar tratamientos de consorcios de cianobacterias con fertilizante químico. En este sentido Mishra y Pabbi (2004) indican que los mejores resultados en la promoción de crecimiento parecen obtenerse cuando se mezclan consorcios de poblaciones locales de cianobacterias a un bajo nivel de fertilizante nitrogenado. Mientras que Zambrano Gavilanes *et al.* (2019) en los tratamientos combinados de cianobacteria y fertilización nitrogenada en dosis alta, fue el que promovió mayormente las variables de crecimiento.

TABLA 1: Desarrollo de las Plantas de *Zea Mays* según tratamientos

	N	Cy	CyN
Emergencia (%)	100	100	80
Nº de hojas al final del ensayo	7	7	5
Longitud total (cm)	92,88	96,55	21,38

Variables destructivas

Respecto a la variable altura de las plantas, al finalizar el ensayo considerando los distintos tratamientos analizados, se obtuvo que el máximo valor promedio ocurrió en el tratamiento "Cy" con 96,5 cm. En tanto el mínimo valor promedio fue de 21,37 cm en el tratamiento con "CyN" (Fig. 3).

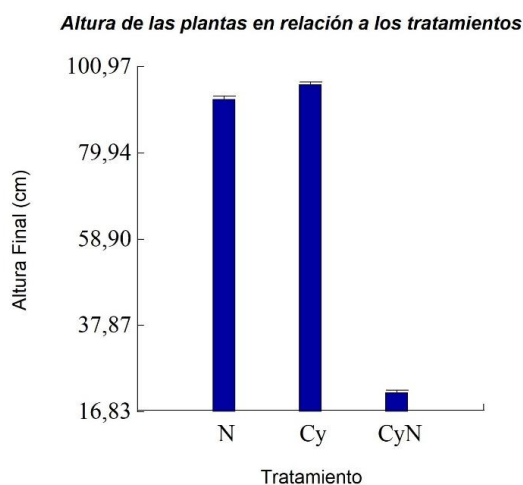


Fig. 3: Altura final de la planta

En relación al porcentaje de materia seca, el máximo valor promedio se obtuvo en el tratamiento "Cy" (26,11%) y el mínimo en el tratamiento "CyN" (Fig.4).

Materia seca en relación a los tratamientos

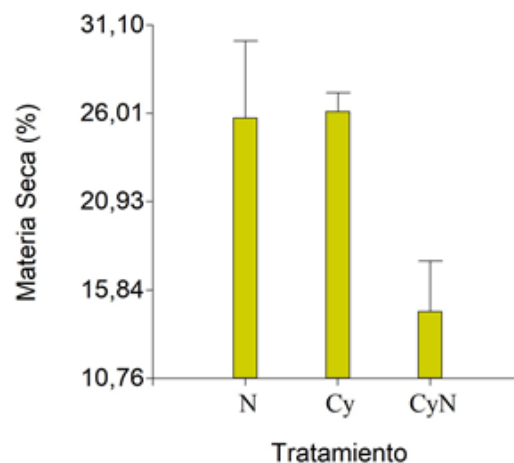


Fig. 4: Porcentaje de materia seca

En el análisis de la variable desarrollo de la raíz, el máximo valor promedio obtenido fue en el tratamiento "Cy" con 12,87 cm, en tanto el mínimo valor promedio ocurrió en el tratamiento "CyN" con 8,87 cm (Fig. 5).

Desarrollo de la raíz en relación a los tratamientos

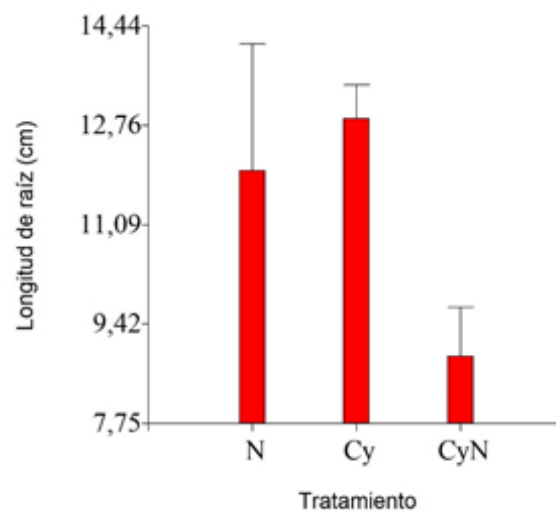


Fig. 5: Desarrollo de raíz.

Caracterización del suelo al final del ensayo

A partir del día 100 del ensayo, tiempo en que se suspende el ensayo se obtuvo que los máximos valores de nitrato y fósforo se obtuvieron en el tratamiento con "Cy" con 64,7 ppm y 75,4 ppm respectivamente (Tabla 2). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Aziz y Hashem, 2003, donde en su trabajo, en suelos salinos de la India, se determinó un incremento del N total y el P en suelos tratados con consorcios de cianobacterias concluyendo que pueden ser utilizados con eficacia para mejorar la fertilidad de suelos salinos.

TABLA 2: Valores promedio de los parámetros de fertilidad del suelo al finalizar el ensayo.

	CO (g/kg)	(%) MOS	(%) Nt	P (ppm)	N- NO ₃ (ppm)	pH
N	2,11	3,61	0,16	63,55	43,19	6,12
Cy	1,99	3,23	0,15	75,47	64,7	6,42
CyN	2,05	3,49	0,15	50,55	33,85	6,42

Comunidad de cianobacterias presentes al final del ensayo

En el estudio se identificaron al final del ensayo un total de 7 especies, 3 heterocistadas: *Nostoc commune*, *N. edaphicum*, *N. muscorum*, se destaca que 3 de las especies que formaban parte del consorcio (*N. calcicola*, *Desmonostoc muscorum* y *Scytonema bonheri*) no fueron identificadas. También se identificaron 4 especies no heterocistadas: *Leptolyngbya edaphica*, *Oscillatoria animalis*, *Phormidium corium* y *Ph. Chlorinum* (Tabla 3 y Fig. 6). Esto resultados coinciden con antecedentes que reportan ensayos utilizando especies de cianobacterias heterocistadas (Mohan et al., 2015). En tanto el género *Nostoc*, que en este ensayo presentó mayor riqueza de especies, es reconocido entre otros taxones como un buen indicador de la fertilidad natural de los suelos, son colonizadores primarios, ayudan a la formación de materia orgánica, retienen el agua y nutrientes esenciales para el crecimiento de una planta (Morales Avendaño, 2014). Sin embargo, Rincón et al. (2003) observó que especies no heterocistadas como *Chroococcus* promovía el crecimiento en arrozales de Corrientes. Por su parte, Araujo Vidal et al., (2018) observó en su trabajo que, la altura de las plantas de arroz, presentaron el mismo crecimiento en los tratamientos con inoculación de la cianobacteria no heterocistada del género *Gloeocapsa* y los tratamientos con fertilización nitrogenada llegando a la conclusión que la promoción de crecimiento no obedece a la incorporación de N. sino a las cianobacterias, quienes podría promover el crecimiento mediante la producción de auxinas y/o incremento en la formación de agregados, dando origen a la mejora en la bioestructura del suelo y por ende en la porosidad.

TABLA 3: Consorcios de cianobacterias aplicados en el ensayo.

Consorcios de cianobacterias	
Comienzo de ensayo	Finalización del ensayo
<i>Nostoc commune</i>	<i>Nostoc commune</i>
<i>Nostoc edaphicum</i>	<i>Nostoc edaphicum</i>
<i>Nostoc muscorum</i>	<i>Nostoc muscorum</i>
<i>Nostoc calcicola</i>	<i>Leptolyngbya edaphica</i>
<i>Desmonostoc muscorum</i>	<i>Oscillatoria animalis</i>
<i>Scytonema bonheri</i>	<i>Phormidium corium</i>
	<i>Phormidium chlorinum</i>

La presencia de *Leptolyngbya*, *Oscillatoria* y *Phormidium* que no fueron parte del consorcio se podría explicar que pudieron formar parte de la biota del suelo o ser transportados por aire, agua, insectos, aves, etc., sin embargo, es probable que por el bajo número de células en comparación con las inoculadas en el tratamiento consorcio

no influyeran en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz. En este sentido Hernández-Reyes et al. (2019) en su trabajo muestra que al final de sus ensayos hubo cambios en la flora edáfica, en relación con la original aplicada y de manera coincidente los géneros que se desarrollan son de especies no heterocistadas.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado, a partir de la matriz de resultados de las variables de fertilidad de suelo (%Nt, N-NO₃-%MO, %CO y P) y de las variables (% de materia seca, altura final de las plantas y desarrollo de la raíz), utilizando como criterio de clasificación los “Tratamientos” se observó que entre el Componentes principal 1 (CP1) y Componente principal 2 (CP2) describen el 100 % de la variación entre las muestras analizadas (relación cofenética 1). El primer componente principal (CP1) separa pH, %MO y CO del resto de las variables. En el caso del segundo Componente (CP2) separa las variables desarrollo de la raíz, altura de la planta, materia seca y %Nt.

Respecto a los tratamientos se observa una correlación más fuerte entre el tratamiento con Cianobacteria (Cy) y el tratamiento con Nitrógeno (N) y se contraponen al tratamiento con Cianobacteria y Nitrógeno (CyN).

Esto sugiere la existencia de factores de peso que causan dicha variabilidad entendiéndose como tales los diferentes tratamientos aplicados (Fig. 7).

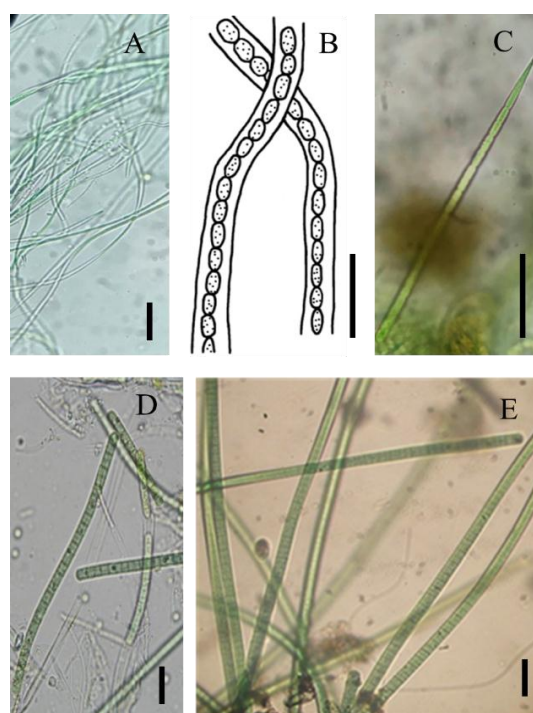


Fig. 6. Cianobacterias no heterocistadas que formaron parte de los consorcios. A-B: *Leptolyngbya edaphica*, C: *Oscillatoria animalis*, D: *Phormidium chlorinum*, E: *Ph. corium*

El análisis de varianza para la variable altura final de las plantas de maíz (Prueba de Kruskal Wallis) mostró diferencias significativas entre los tratamientos CyN con los restantes tratamientos; En tanto, reflejó una similitud entre

los tratamientos de Cy y los tratamientos N: $p= 0,015$ (Tabla 4)

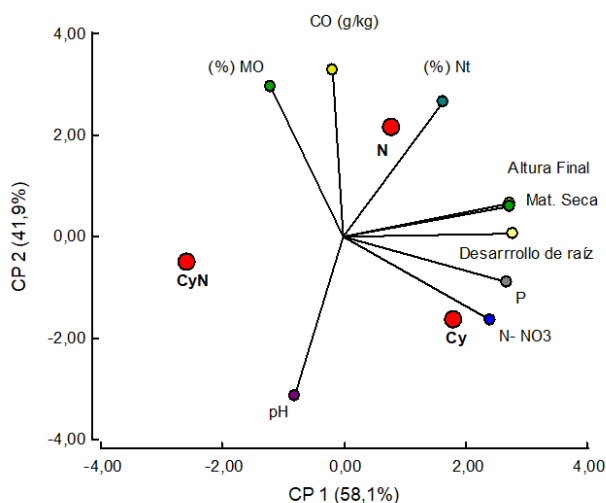


Fig. 7: Análisis de componentes principales (ACP) considerando los diferentes tratamientos y las variables analizadas

Los Tratamientos aplicados: Nitrógeno, Cianobacterias y Nitrógeno se asocian a la variabilidad de los parámetros estudiados especialmente CO; MO; Nt; N-NO₃ y P, así como las variables relacionadas con el desarrollo de las plantas de maíz cultivadas bajo dichos tratamientos: desarrollo de la raíz, altura final de la planta y Materia seca. E

TABLA 4: Comparación de los valores medios de la variable altura final de las plantas (prueba de Kruskal Wallis)

Trat.	Ranks	
CyN	2,5	A
N	6,63	B
Cy	10,38	B

También para la variable materia seca, (Prueba de Kruskal Wallis) mostró diferencias significativas entre los tratamientos: CyN con los restantes tratamientos; por el contrario, este ensayo reflejó una similitud entre los tratamientos Cy y los tratamientos N ($p= 0,0003$) (Tabla 5).

TABLA 5: Comparación de los valores medios de la variable materia seca (prueba de Kruskal Wallis)

Trat.	Ranks	
CyN	2,75	A
N	7,25	B
Cy	9,5	B

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran el potencial uso de las cianobacterias fijadoras de nitrógeno como biofertilizantes en el Zea mayz. Sin embargo, son necesarios estudios a campo para corroborar su eficiencia

agronómica y consolidar esta recomendación. En este sentido también se deben incluir estudios moleculares específicos que permitan finalmente formular este tipo de bioproductos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNC (PRIMAR y Consolidar 2018-2021) y del Ministerio de Ciencia y tecnología de la provincia de Córdoba (PID 2018).

REFERENCIAS

- [1] Aguilera A. y Echenique R. (2011), "Consideraciones generales de Cianobacteria: aspectos ecológicos y taxonómicos". En Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud. Departamento de Salud Ambiental. Ministerio de Salud 2: 21-40.
- [2] Alghanmi H. y Jawad, H. (2019), "Effect of Environmental Factors on Cyanobacteria Richness in Some Agricultural Soils". Geomicrobiology Journal, 36:1, 75-84, DOI: 10.1080/01490451.2018.1517196
- [3] Araujo Vidal, D., Hernández, R. y Vanegas, J. (2018), "Efecto de la Inoculación de Cianobacterias en Cultivos de Interés Comercial en Zonas Semiáridas de la Guajira-Colombia". doi:http://dx.doi.org/10.23850/24220582.889.
- [4] Aziz, M. y Hashem, M. (2003), "Role of Cyanobacteria in Improving Fertility of Saline Soil". Pakistan Journal of Biological Sciences, 6 (20):1751- 1752.
- [5] Castillo-Monroy A.P., Maestre F.T., Rey A., Soliveres S. y García-Palacios P. (2011), "Biological Soil Crust Microsites Are the Main Contributor to Soil Respiration in a Semiarid Ecosystem". Ecosystems 14(5):835-847.
- [6] Denegri, A., Fernandez Belmonte, C. y Campitelli, P. (2021), "Cianobacterias como restauradoras de suelos incendiados: un caso de estudio en zonas semiáridas del centro-oeste de Argentina". Multequina. ISSN 1852-7329 on-line
- [7] Díaz-Franco, A. Gálvez-López, D. y Ortiz-Cháirez, F.E. (2015), "Bioinoculación y fertilización química reducida asociadas con el crecimiento de planta productividad de sorgo". Rev. Int. Cont. Amb. 31(3):245-252.
- [8] Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2021), Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- [9] Hernández-Reyes B., Rodríguez-Palacio M., Castilla-Hernández P., Sánchez-Robles J., Vela-Correa G. y Schettino-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 Vol. 10 No. 1 p. 13-27.
- [10] Giannini F., Hang S., Cordoba M., Negro G. y Balzarini M. (2017), "Enhancing edaphoclimatic zoning by adding multivariate spatial statistics to regional data". Geoderma, 310:170-177.
- [11] Khadatare, S. y Suryawanshi, D.S. (2016), "Isolation blue green algae from maize fields of Mohol Tahasil in Solapur". IJSR 5(6):1597-1599.
- [12] Kőmárek J. y Anagnostidis K. (1998), "Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales." En: Ettl h., Gärtner G., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm, 548 pp.
- [13] Kőmárek J. y Anagnostidis K. (2005), "Cyanoprokaryota 2." Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales". - En: Büdel B., Krienitz L., Gärtner G. & Schagerl M. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2, Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 759 pp.
- [14] Kőmárek, J y T Hauer. (2012), "Cyano DB.cz - On-line database of cyanobacterial genera. - Word-wide electronic

- publication”, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR, <http://www.cyanodb.cz>.
- [15] Kómárek, J.; C.L. Sant’Anna; M. Bohunická.; J. Mareš; G.S. Hentschke; J. Rigonato y M.F. Fiore. (2013), “*Phenotype diversity and phylogeny of selected Scytonema-species (Cyanoprokaryota) from SE Brazil*”. *Fottea* 13(2): 173-200.
- [16] Kómárek, J.; J. Kaštovský; J. Mareš y J.R. Johansen. (2014), “Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) using a polyphasic approach”. *Preslia* 86(4): 295-235.
- [17] Mishra, U. y Pabbi, S. (2004). “*Cyanobacteria: A potential biofertilizer for rice*”. *Resonance*, 9 (6), 6-10. doi: 10.1007/BF02839213.
- [18] Mohan, A., Kumar, B. y Nath, D. (2015), “*Cyanobacterial consortium in the improvement of maize crop*”. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 4(3):264-274.
- [19] Morales Avendaño, E., Martínez Pérez, R. y Suárez Rodríguez G. (2014), “Aislamiento, cultivo, viabilidad y evaluación de un consorcio cianobacteria-microalga como acondicionador de suelos”. *REMCB* 35(1 y 2):51-71.
- [20] Nisha, R., Kaushik, A. y Kaushik, C.P. (2007), “Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semiarid soil”. *Geoderma*. 138: 49-56.
- [21] Obid, S., Idris, A. y Ahmed, B. (2016), “Effect of bio-fertilizer on growth and yield of two maize (*Zea mays* L.) Cultivars at Shambat, Sudan”. *Sch. J. Agric. Vet. Sci.* 3(4):313-317.
- [22] Prasanna, R., Joshi, M., Rana, S., Shivay, Y. y Nain L. (2012). “Influence of co-inoculation of bacteria-cyanobacteria on crop yield and C-N sequestration in soil under rice crop. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 28 : 1223-1235, 10.1007/s11274-011-0926-9
- [23] Rincón, A., Prósperi, C. y Fernández Valiente, E. (2003), “Fijación de nitrógeno en la cianobacteria *Chroococcus limneticus* y su relación con la actividad superóxido dismutasa”. *Revista de Ciencia y Tecnología* (8): 115-123.
- [24] Rippka R., Deruelles J., Waterbury J.B., Herdman M. y Stanier R.Y. (1979), “*Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria*” en *J. Gen. Microb.*, vol. 111, pp. 1-61.
- [25] Rodríguez, A., Stella, A., Storni, M., Zulpa, G. y Zaccaro M. (2006), “Effects of cyanobacterial extracellular products and gibberellic acid on salinity tolerance in *Oryza sativa* L.” *Saline Systems*, 2: 7-7.
- [26] Saurabh, P., Kumar, N. (2014), “*Algae as a soil conditioner*”. *IJETR* 2(4):68-70.
- [27] Sahu, D., Priyadarshani, I., Rath, B. (2012), “*Cyanobacteria - as potential biofertilizer*” *CIBTech J. Microbiol.* 1(2-3): 20-26.
- [28] Singh, S., Pathak, J. y Sinha, R. (2017), “Cyanobacterial factories for the production of green energy and value-added products: An integrated approach for economic viability”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 578-595. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.110.
- [29] Song X., Zhang, J., Peng, Ch. y Dunhai, Li. (2021), “Replacing nitrogen fertilizer with nitrogen-fixing cyanobacteria reduced nitrogen leaching in red soil paddy fields”. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 312. ISSN 0167-8809, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107320>.
- [30] Syiem, M., Singh, A. y Rai A.N. (2019), “N₂-fixing cyanobacterial systems as biofertilizer”. *Agro-environmental Sustainability*, Springer International Publishing .
- [31] Whitton B. y Potts M. (2000), “The ecology of cyanobacteria—their diversity in time and space”. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- [32] Zambrano Gavilanes, F., Souza Andrade, D., Zucareli, C., Sarkis Yunes J., Amaral, H., da Costa, R M., Raia, D., García, M. y Guimarães, M. (2019), “*Efecto de la inoculación con cianobacterias y coinoculación con*

azospirillum brasilense sobre características fitométricas en maíz”. *Bioagro* 31(3): 193-202.