

CIANOBACTERIAS EN DIFERENTES ESTADÍOS FENOLÓGICOS DEL CULTIVO DE ARROZ EN ENTRE RÍOS (ARGENTINA)

CECILIA ISABEL SÁNCHEZ; SILVIA MERCEDES BENINTENDE & MARÍA CRISTINA BENINTENDE

Recibido: 29-06-10

Recibido con revisiones: 14-06-11

Aceptado: 17-06-11

CYANOBACTERIA IN DIFFERENTS PHENOLOGY STAGES OF RICE CROPP IN ENTRE RÍOS (ARGENTINA)

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the number and genera of cyanobacteria of rice crop fields of Entre Ríos at different phenological stages during two years. The microscopic cyanobacteria count in water and soil techniques were used and media comparison tests were performed to establish differences at tillering, booting and physiological maturity stages. The identification was conducted by morphological characteristics, dividing them by unicellular, heterocystous filamentous and non-heterocystous filamentous groups. Richness and Simpson's Reciprocal Indexes were calculated. Count distribution patterns in water were similar in both years. The lowest counts were registered at the tillering stages showing significant differences between the first and second year. The maximum counts were observed at the booting stage in both years ($3,6 \times 10^4$ and $4,0 \times 10^4$ cells mL^{-1} respectively). In the soil, the population exhibited a different evolution in the two years of analysis and was significantly different in booting and tillering. In the first year, 11 genera were registered, while 10 genera were registered in the second year. The genera *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, and *Gloeocapsa* were observed in both years. *Nostoc* and *Anabaena* were present in most of the samplings. The unicellular cyanobacteria *Aphanocapsa*, *Chroococcus* and *Gloeocapsa* were dominant in the soil. Simpson's Reciprocal Index increased along the cycle of rice in the second year of evaluation. Richness increased at the booting stage due to a better adaptation to the environmental conditions. The proportion of heterocystous filamentous in water was different during both years of study (50% and 26% for the first and second year).

Key words. Cyanobacterial abundance, Cyanobacterial biodiversity, Cyanobacteria of rice fields.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue analizar número y géneros de cianobacterias en arrozceras de Entre Ríos en diferentes estadios del cultivo durante dos años. Se empleó la técnica de recuento microscópico en agua y suelo y se realizó una comparación de medias para establecer diferencias en los estadios macollaje, panoja embuchada y madurez fisiológica. La identificación se realizó por características morfológicas, agrupándolas en unicelulares, filamentosas heterocísticas y no heterocísticas. Se calculó la riqueza y el Índice Recíproco de Simpson. Los recuentos en agua tuvieron un patrón de distribución similar en los dos años. En macollaje se registraron los menores recuentos y estos difirieron significativamente entre el primer y segundo año. El máximo recuento se observó en panoja embuchada en los dos años ($3,6 \times 10^4$ y $4,0 \times 10^4$ células mL^{-1} , respectivamente). En suelo, la población exhibió una evolución diferente en los dos años de análisis y difirieron significativamente en macollaje y panoja embuchada. En el primer año se registraron 11 géneros, y 10 en el segundo. Los géneros *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, y *Gloeocapsa* se observaron los dos años. *Nostoc* y *Anabaena* estuvieron presentes en la mayoría de los muestreos. Las cianobacterias unicelulares *Aphanocapsa*, *Chroococcus* y *Gloeocapsa* fueron dominantes en suelo. El Índice Recíproco de Simpson aumentó con los estadios del arroz en el segundo año de evaluación. La riqueza aumentó en panoja embuchada por una mejor adaptación a las condiciones del medio. La proporción de cianobacterias heterocísticas en agua fue diferente en los dos años evaluados (50% y 26% para el primer y segundo año).

Palabras clave. Biodiversidad de cianobacterias, Abundancia de cianobacterias, Cianobacterias en arroz.

Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Ruta 11, km 10. 3101. Paraná Entre Ríos Tel: 0343 4975075 int 123. Autor para correspondencia: cecilias@fca.uner.edu.ar

Ci. SUELO (ARGENTINA) 29(2): 181-189, 2011

INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias constituyen un grupo de procariontas 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 descripto 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 & Fernández-Valiente, 1996; Jha *et al.*, 2001; Prasanna & 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 & Pontes, 1992). Sánchez *et al.* (2007) señalan la influencia de la temperatura del agua sobre el número de ciano-bacterias totales en arroceras 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 & 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).

El sistema de producción de arroz en la provincia de Entre Ríos se caracteriza porque se lo cultiva en suelos con altos contenidos de arcilla, principalmente en el horizonte subsuperficial. Se emplea el sistema de inundación con agua subterránea desde el estadio de macollaje del arroz a poco antes de la cosecha.

El objetivo de nuestro trabajo fue analizar la comunidad de cianobacterias que se desarrolla en campos arroceros de la provincia de Entre Ríos, estableciendo el número y especies de cianobacterias en diferentes estadios fisiológicos del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se condujo en el Departamento San Salvador de la provincia de Entre Ríos (Argentina). La zona pertenece a la región climática templada húmeda de llanura. La temperatura media diaria anual es de 16,6 °C, y varía entre 24,9 °C en enero y 12 °C en junio y julio. La amplitud térmica es de 12,9 °C (Plan Mapa de Suelos de la provincia de Entre Ríos, 1999).

El suelo del área es un Peluderte Árgico (Vertisol con gilgai lineal y B₂ textural), que presenta horizonte superficial de textura franco arcillo limosa (Plan Mapa de Suelos de la provincia de Entre Ríos, 1999).

En la Figura 1 se presenta la biomasa aérea del cultivo de arroz, expresada en gramos por metro cuadrado, acumulada a través de su ciclo en las distintas campañas analizadas. Esta información se utilizará para analizar la evolución de la población de cianobacterias y fue presentada por Benintende *et al.* (2006).

Muestreo de suelo y agua

Durante dos años consecutivos (campañas 2003-2004 y 2004-2005) se evaluó la población de cianobacterias en suelo y agua de 2 lotes de aproximadamente 40 ha en los que se realiza monocultivo de arroz. Los momentos del ciclo del arroz en los que se realizaron las evaluaciones fueron: macollaje (entre 3 y 5 días de inundado el cultivo), panoja embuchada (aproximadamente a los 75 días de sembrado el cultivo, lo que corresponde a 35 días de inundado el cultivo) y madurez fisiológica (aproximadamente a los 135 días de sembrado el cultivo, lo que corresponde a 95 días de inundado el cultivo). Las muestras de suelo y agua fueron compuestas de 10 submuestras tomadas al azar entre las líneas del cultivo. Para el muestreo de cianobacterias en suelo y agua de arroceras se siguió la técnica propuesta por Quesada y Fernández-Valiente (1996). Para ello se empleó un tubo cilíndrico hueco de extremos abiertos que se enterró en el suelo a una profundidad de 10 cm. Una vez retirados los tubos del suelo, con ayuda de un émbolo se separaron los 5 mm superficiales para formar la muestra de suelo. El muestreo de agua se realizó a partir de la porción que quedó contenida en el interior del tubo con ayuda de una jeringa. Para

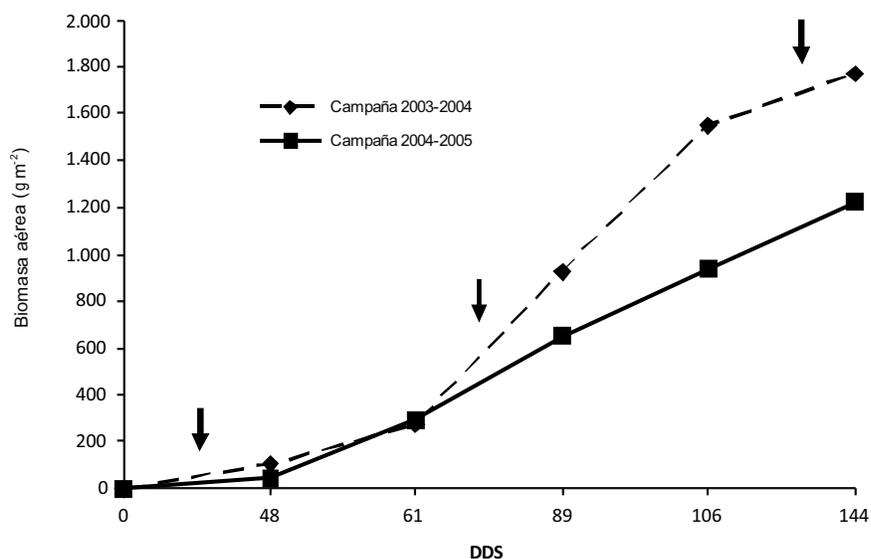


Figura 1. Biomasa aérea (g m⁻²) acumulada durante el ciclo del arroz en las diferentes campañas del cultivo. (Las flechas señalan los momentos de muestreo).

Figure 1. Aboveground biomass (g m⁻²) accumulated during the cycle of rice in two growing seasons. (The arrows indicate sampling times).

la conservación de las muestras se agregó solución de formaldehído al 5% (Andrinolo *et al.*, 2009).

Recuento de cianobacterias por conteo directo

Los recuentos fueron realizados utilizando una cámara de Neubauer (French & Hebert, 1982). Los resultados fueron expresados en células por mL de agua (células mL⁻¹) y en células por cm² de superficie de suelo (células cm⁻²) tal como lo proponen Quesada & Fernández-Valiente (1996).

Se realizó una comparación de medias (prueba t) para establecer diferencias estadísticas entre los recuentos de las dos campañas analizadas en cada uno de los estadios fisiológicos del arroz. Para el análisis estadístico se empleó el paquete estadístico InfoStat (2007).

Identificación de géneros

La identificación de los géneros de cianobacterias encontrados en suelo y agua se realizó por sus características morfológicas utilizando las descripciones de Desikachary (1969) citadas por Prescott (1962), Venkataraman (1981) y Prósperi *et al.* (1996).

Para su análisis, las cianobacterias se agruparon en unicelulares, filamentosas heterocísticas y filamentosas no heterocísticas (Venkataraman, 1981).

Tanto el recuento de cianobacterias, como la descripción de los géneros se realizaron con microscopio trinocular marca Olympus modelo CX31. El aumento total empleado fue 450x.

Biodiversidad y dinámica de las cianobacterias

Para evaluar la biodiversidad de cianobacterias en las muestras de suelo y agua se aplicó el Índice Recíproco de Simpson (1949) a partir de la abundancia relativa de cada uno de los géneros identificados en la observación microscópica. Este se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice recíproco de Simpson} = 1 / D,$$

donde D (Índice de Diversidad de Simpson) = 1 - D

$$D = [\sum n(n - 1)] / [N(N - 1)]$$

n = número total de organismos de un género particular;

N = número total de todos los organismos recontados.

La riqueza se calculó cómo el número de géneros diferentes observados en cada una de las muestras.

Se calculó la relación porcentual de los grupos morfológicos presentes en cada una de las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recuento de cianobacterias por conteo directo

La Figura 2 muestra la evolución de los recuentos totales de cianobacterias en agua a lo largo del ciclo de cultivo del arroz para las campañas analizadas. Encuentra-

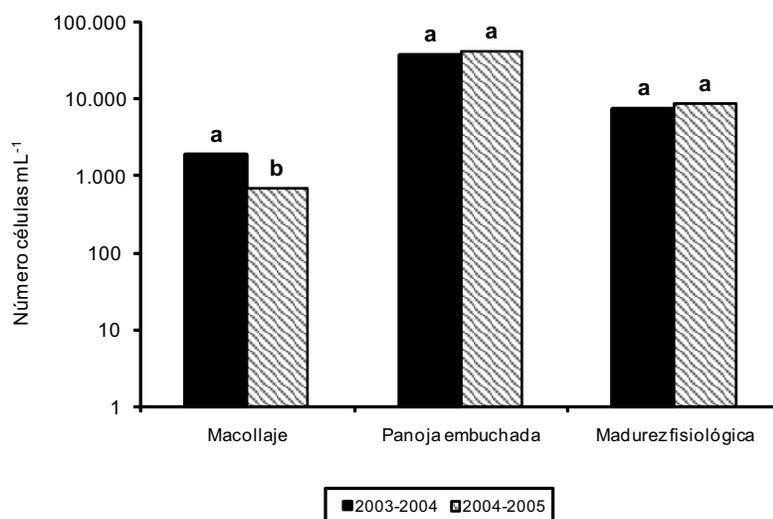


Figura 2. Evolución de la población de cianobacterias en agua durante el ciclo del cultivo de arroz. Letras distintas corresponden a diferencias entre años para cada momento de muestreo ($\alpha \leq 0,10$).

Figure 2. Cyanobacteria population growth in water during a rice crop cycle. Different letters indicate differences between years for each physiological stage ($\alpha \leq 0,10$).

mos que el patrón de distribución de estos microorganismos fue similar en ambos años de evaluación. Sin embargo, el análisis estadístico mostró que los recuentos en macollaje difirieron significativamente entre el primer y segundo año de evaluación ($\alpha \leq 0,10$).

Los menores recuentos los observamos en el estadio de macollaje, apenas inundado el cultivo. El máximo recuento se alcanzó en el período de panoja embuchada con valores de $3,6 \times 10^4$ y $4,0 \times 10^4$ células mL⁻¹ en el primer y segundo año respectivamente. En madurez fisiológica del arroz los recuentos registraron un descenso de la población de cianobacterias respecto de lo medido en panoja embuchada que alcanzó una proporción promedio del 75% en ambos años de evaluación.

La evolución en el número de cianobacterias del presente estudio difiere de lo hallado por Rincón *et al.* (2003) para muestras de agua de arroceras de la provincia de Corrientes (Argentina), quienes encontraron que al inicio del cultivo la abundancia de estos microorganismos era mayor respecto del resto de los estadios del arroz. La diferencia hallada entre los recuentos de cianobacterias de estos dos estudios se atribuye a la fuente de agua utilizada para el riego en los sistemas de producción analizados. En Corrientes se usa agua superficial de río, la que cuenta con una carga de cianobacterias inicial

alta (Rincón *et al.*, 2003), mientras que en las arroceras entrerrianas se emplea agua de pozo de cuya profundidad se presume que no posee cianobacterias. En este sentido, para Deepa Devi *et al.* (2010) si bien existen reportes en lo que se mencionan la existencia de cianobacterias en profundidad en suelos agrícolas, la población de estos microorganismos no es capaz de persistir en ausencia de luz por sus características autotróficas. Por otra parte, la temperatura del agua del pozo difiere notablemente respecto del agua superficial. En el estudio previo de Sánchez *et al.* (2007) se encontró que los mayores recuentos de cianobacterias se registraron en los estadios de panoja embuchada y madurez fisiológica cuando la temperatura del agua de inundación fue mayor. Así mismo la temperatura del agua influyó sobre distribución de los grupos morfológicos de cianobacterias, encontrándose mayor proporción de unicelulares (Sánchez *et al.*, 2007). En el trabajo de Sánchez *et al.* (2007) se menciona que a la salida del pozo el agua tiene una temperatura de 20 °C y difiere respecto de la zona más alejada del pozo en 6 °C en el mes de diciembre, en 4,7 °C en enero y 2,8 °C en febrero. Estas variaciones de la temperatura del agua correspondieron a recuentos de cianobacterias en panoja embuchada de 4×10^5 y $3,1 \times 10^5$ células mL⁻¹ en las zonas más cercana y alejada de entrada del agua de pozo respectivamente. Mientras que en

madurez fisiológica los valores hallados fueron de 8×10^3 y $8,4 \times 10^4$ células mL^{-1} para las mismas zonas. Estos recuentos representan diferencias de $2,7 \times 10^5$ y $7,6 \times 10^4$ células mL^{-1} , en los estadios de panoja embuchada y madurez fisiológica respectivamente, entre los sitios de salida de agua del pozo y la zona más alejada del mismo.

En macollaje, las cianobacterias recontadas en agua probablemente se desarrollaron a partir de estructuras de resistencia que permanecen en el suelo, como lo explican Quesada & Fernández-Valiente (1996). Estos autores afirman que existiría una sucesión ecológica en la que las cianobacterias presentes en agua se desarrollarían a partir de estructuras de resistencia del suelo cuando este se inunda. Por su parte Deepa Devi *et al.* (2010) indican que las cianobacterias pueden sobrellevar largos períodos de sequía, aunque requieren de humedad para llevar adelante sus procesos metabólicos.

El descenso registrado en madurez fisiológica se atribuye al efecto cobertura del cultivo. La Figura 1 muestra el aumento de la biomasa aérea del arroz en el período de madurez fisiológica en los dos años de evaluación, lo que supondría un aumento de la intercepción lumínica que afecta el desarrollo de estos microorganismos por ser fotodependientes. Bajo estas condiciones se produce además la competencia por los nutrientes, provocándose

una disminución de la población de cianobacterias tanto en abundancia como en diversidad tal como lo indica Rincón *et al.* (2003).

Los recuentos de cianobacterias en suelo determinados en el presente trabajo se muestran en la Figura 3. El análisis estadístico mostró que los recuentos de cianobacterias difirieron significativamente en los estadios de macollaje y panoja embuchada entre los dos años de análisis ($\alpha \leq 0,10$).

Los valores determinados en este estudio fueron menores a los mencionados por Quesada & Fernández-Valiente (1996) para campos arroceros de España. La proporción recontada en etapas del cultivo del arroz similares a las analizadas en nuestro estudio fue en promedio 87% menor a lo descrito por estos autores, quienes hallaron cantidades que oscilaron entre $4,7 \times 10^4$ y $2,8 \times 10^5$ ufc cm^{-2} . Jha *et al.* (2001), al analizar cianobacterias en suelos arroceros sometidos a diferentes rotaciones de la India, encontraron que la cantidad de estos organismos está en el orden del 10^8 ufc cm^{-2} . Estos resultados muestran que existen diferencias en el número de cianobacterias de los campos de Entre Ríos y las zonas productoras tradicionales de arroz, la que se atribuyen a las formas de manejo del cultivo de arroz para las zonas analizadas.

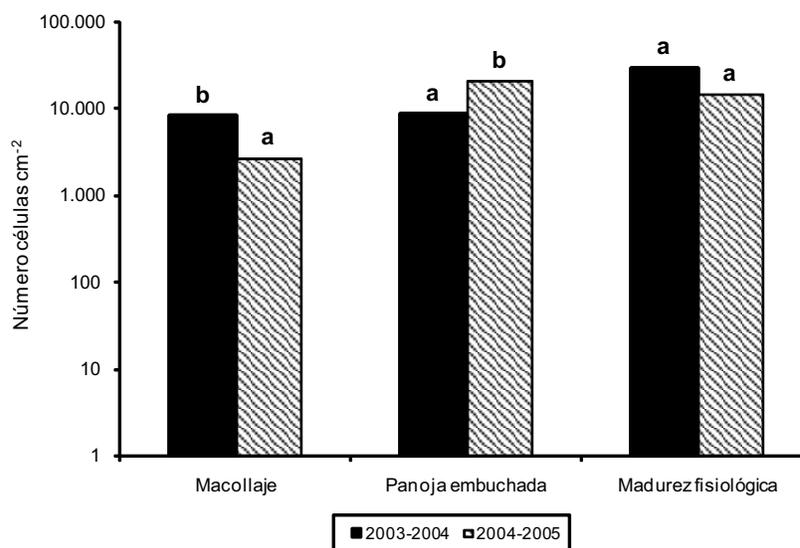


Figura 3. Evolución de población de cianobacterias en suelo en diferentes estadios del cultivo de arroz. Letras distintas corresponden a diferencias entre años para cada momento de muestreo ($\alpha \leq 0,10$).

Figure 3. Cyanobacteria population growth in soil during a rice crop cycle. Different letters indicate differences between years for each physiological stage ($\alpha \leq 0.10$).

En oposición a lo determinado en agua, la población de cianobacterias en suelo mostró una evolución diferente en los dos años de análisis, registrándose en el primer año de evaluación un aumento en el número de estos microorganismos hacia el final del ciclo de cultivo. Prasanna & Nayak (2007) señalan que los recuentos de cianobacterias en suelo exhiben gran variabilidad numérica en distintas localidades de la India en las que tradicionalmente se cultiva arroz. Las fluctuaciones en el cantidad también han sido descriptas por Chunleunchanon *et al.* (2003), para quienes las marcadas variaciones en el número de estos microorganismos son propias de las áreas agrícolas arroceras.

La comparación de los recuentos de cianobacterias en la etapa de macollaje en suelo y agua 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 & Fernández-Valiente (1996) quienes encontraron en agua una proporción de cianobacterias 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 evaluados (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.

Géneros de cianobacterias identificados

Durante el primer año de evaluación se registraron un total de 11 géneros, y 10 géneros de cianobacterias en el segundo año de evaluación en muestras de suelo y agua. Los géneros *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, y *Gloeocapsa* se observaron en ambos años de evaluación. Los géneros *Calothrix*, *Gloeotrichia*, *Microcystis* y *Plectonema* se encontraron únicamente en el primer año, mientras que *Arthrospira*, *Spirulina*, y *Cylindrospermum* en el segundo año solamente. La cantidad total de géneros identificados estuvo comprendida entre lo mencionado por el trabajo previo del grupo de investigación para campos arroceros de la provincia de Entre Ríos (Argentina) (Sánchez *et al.*, 2007). Proserpi *et al.* (1996) encontraron entre 8 y 12 géneros de cianobacterias en diferentes campos de arroz de la provincia de Corrientes (Argentina). Por su parte Prasanna & Nayak (2007) reconocieron un total de 12 géneros en

diferentes sitios ecológicos de la India en los que se cultiva arroz, y por cada sitio ecológico se reconocieron entre tres y nueve géneros. De la cantidad de géneros mencionados por estos autores nueve han sido reconocidos en el presente estudio. El cultivo de arroz provee un hábitat, en cuanto a condiciones de humedad, temperatura, disponibilidad de luz, que permite el desarrollo de los géneros identificados como característicos de una arroceras.

Sin embargo, no se encontraron los géneros de cianobacterias *Scytonema*, *Westiellopsis*, *Hapalosiphon* mencionados por Prasanna & Nayak (2007), ni los géneros *Nodularia* y *Gloeotheca* citados por Quesada & Fernández-Valiente (1996) para arroceras de España, probablemente debido a la técnica de identificación empleada. Los mencionados autores, trabajaron con la técnica de recuento en medios de cultivo selectivo para cianobacterias, que puede favorecer el desarrollo de una especie de cianobacteria en particular en detrimento de otras, mientras que en este trabajo se utilizó la identificación microscópica de las muestras extraídas del campo.

Biodiversidad y dinámica de las cianobacterias

Cuando se analiza el patrón de distribución de los géneros de cianobacterias a lo largo del ciclo del cultivo encontramos que *Nostoc* y *Anabaena* estaban presentes en la mayoría de los muestreos, tanto en suelo como en agua (Tabla 1). Estos géneros son mencionados como predominantes en los estudios de diversidad de cianobacterias en campos de arroz de la India, ya que los mismos son altamente competitivos (Prasanna & Nayak, 2007). Por su parte Chunleuchanon *et al.* (2003) observaron que estos géneros fueron dominantes en los suelos arroceros de Tailandia.

Encontramos que el género dominante de cianobacteria varió durante el ciclo del arroz. Esta observación difiere a lo hallado en el trabajo de Jha *et al.* (2001), quienes mencionan como únicos géneros dominantes a especies pertenecientes a *Nostoc* y *Westiellopsis* en arroceras sometidas a diferentes niveles de fertilidad, y rotaciones de cultivo. Sin embargo se destaca, en coincidencia con estos investigadores, que las cianobacterias no heterocísticas que prevalecieron fueron especies pertenecientes a los géneros *Oscillatoria* y *Lyngbya*.

En nuestro estudio se observó el predominio de cianobacterias unicelulares *Aphanocapsa*, *Chroococcus* y *Gloeocapsa* en suelo. Durante el primer año fueron dominantes en todos los estadios del arroz. Y en el segundo

Tabla 1. Riqueza, Índice de Reciprocidad de Simpson y patrón de distribución de los géneros de cianobacterias.
Table 1. Richness and Reciprocal Simpson's Indexes and cyanobacteria genera distribution pattern.

Estadio fisiológico del arroz	Riqueza	Índice Reciprocidad de Simpson (1/D)	Género dominante	Género acompañante	Género raro
2003-2004					
Agua					
Macollaje	4	3,67	<i>Lyngbya</i>	<i>Anabaena</i>	
P. Embuchada	9	3,62	<i>Anabaena</i> <i>Lyngbya</i>	<i>Nostoc</i>	<i>Calothrix</i> <i>Plectonema</i>
M. Fisiológica	7	4,25	<i>Nostoc</i>	<i>Lyngbya</i> <i>Aphanocapsa</i>	<i>Gloeotrichia</i>
Suelo					
Macollaje	6	3,80	<i>Aphanocapsa</i>	<i>Chroococcus</i>	
P. Embuchada	6	3,20	<i>Aphanocapsa</i>	<i>Nostoc</i>	<i>Mycrocistis</i>
M. Fisiológica	7	3,61	<i>Aphanocapsa</i>	<i>Nostoc</i>	
2004-2005					
Agua					
Macollaje	4	3,58	<i>Oscillatoria</i>	<i>Anabaena</i> <i>Chroococcus</i> <i>Aphanocapsa</i>	
P. Embuchada	6	4,58	<i>Chroococcus</i>	<i>Oscillatoria</i>	
M. Fisiológica	9	5,71	<i>Chroococcus</i>	<i>Nostoc</i> <i>Oscillatoria</i>	<i>Arthrospira</i> <i>Cylindrospermum</i>
Suelo					
Macollaje	3	2,88	<i>Aphanocapsa</i>	<i>Anabaena</i> <i>Oscillatoria</i>	
P. Embuchada	9	6,16	<i>Oscillatoria</i>	<i>Nostoc</i>	<i>Spirulina</i>
M. Fisiológica	7	6,03	<i>Gloeocapsa</i>	<i>Nostoc</i>	

año, en dos de los tres muestreos. La alta proporción de cianobacterias unicelulares en suelo en la mayoría de los muestreos del presente estudio difiere de la descripta para las zonas productoras asiáticas tradicionales. El trabajo de Quesada & Fernández-Valiente (1996) señala que los géneros más abundantes en campos de arroz de España son del tipo filamentosos heterocísticos. Los géneros filamentosos heterocísticos *Calothrix*, *Nostoc* y *Anabaena* fueron mencionados como dominantes en diferentes estaciones del año en arrozceras de Tailandia por Chunleuchanon *et al.* (2003).

Consideramos géneros raros a *Cylindrospermum* y *Plectonema* ya que presentaron baja densidad o un alto número de ausencias en los muestreos analizados. Estos géneros son mencionados como raros para campos de la India por Jha *et al.* (2001). En general se considera que estas especies tienen baja capacidad de competencia

dentro del ecosistema por lo que quedan relegadas a unos pocos representantes (Ramírez González, 2005).

Durante el primer año observamos que el Índice Recíproco de Simpson fue constante a lo largo del ciclo del cultivo. Sin embargo, durante el segundo año encontramos que este aumentó con los estadios fisiológicos del cultivo de arroz tanto en suelo como en agua. En general, los valores determinados fueron menores a los mencionados por Prassana y Nayak (2007), quienes encontraron que el Índice Recíproco de Simpson fue mayor a cuatro en el 77% de las localidades productoras de arroz de la India analizadas por estos investigadores. Para estos investigadores los valores de Índice Recíproco de Simpson hallados en los suelos de la India analizados reflejan una alta diversidad de cianobacterias con valores que oscilaron entre 2,45 y 6,66, y consideran que la mayor diversidad de cianobacterias se encuentra en las localidades en las que tradicionalmente se cultiva el arroz y

donde los suelos no han sido fertilizados, y por lo tanto la flora nativa de cianobacterias representa una rica fuente de géneros.

La riqueza de géneros fue baja en el estadio inicial del ciclo de cultivo en las muestras de suelo y agua en los dos años de estudio. Sin embargo, la misma aumentó hacia el estadio de panoja embuchada en todos los casos pero fue variable su comportamiento hacia el final del ciclo de cultivo. Observamos que el aumento en el número de géneros de cianobacterias que se reconocen a mediados del ciclo del cultivo está acompañado de un aumento en el número de estos microorganismos. Este comportamiento es atribuible a que a mediados del ciclo de cultivo habría una mejor adaptación a las condiciones del medio, tales como pH, temperatura y luz (Rincón *et al.*, 2003).

Las Figuras 4 y 5 muestran la evolución porcentual de las cianobacterias en suelo y agua cuando son agrupadas en heterocísticas, no heterocísticas y unicelulares, para las dos campañas analizadas. La importancia de agrupar los géneros según su morfología radica en que en los aportes que pueden realizar las cianobacterias al sistema a través del proceso de fijación biológica de N.

Las cianobacterias filamentosas (heterocísticas y no heterocísticas) alcanzaron una proporción superior al

50% del total en la mayoría de los estadios en las muestras de agua en los dos años evaluados. Quesada *et al.* (1998) mencionan que las cianobacterias heterocísticas pueden fijar altas tasas de N bajo un amplio rango de condiciones de luz porque tienen disponible el mecanismo de protección de la nitrogenasa de la fotoproducción de oxígeno.

Las cianobacterias heterocísticas observadas en muestras de agua alcanzaron una proporción del 50% aproximadamente durante el primer año de análisis. Sin embargo, la proporción de este grupo morfológico fue menor, alcanzando valores que oscilaron entre el 20 y 26% en el segundo año. Los porcentajes de cianobacterias heterocísticas observados fueron menores a los mencionados por Quesada & Fernández-Valiente (1996), quienes indican que el 95% de especies de cianobacterias recontadas en arrozceras de España fueron del grupo de las heterocísticas.

Las cianobacterias unicelulares encontradas en muestras de agua presentaron bajos porcentajes durante el primer año de análisis, mientras que en el segundo año la proporción de este grupo varió entre el 40% y 50%. En las muestras de suelo, las cianobacterias unicelulares alcanzaron recuentos que superaron el 50% durante la campaña 2003-2004, pero fue menor al 50% durante la

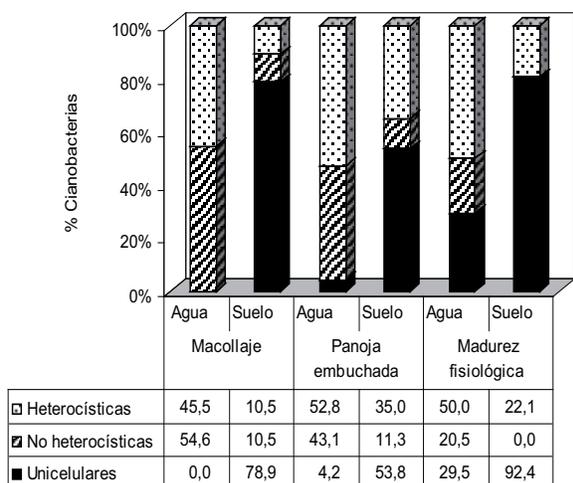


Figura 4. Evolución porcentual de cianobacterias agrupadas por características morfológicas durante el ciclo del cultivo de arroz. Campaña 2003-2004.
Figure 4. Cyanobacterial percentage evolution grouping for morphological characteristics during rice crop cycle. Period 2003-2004.

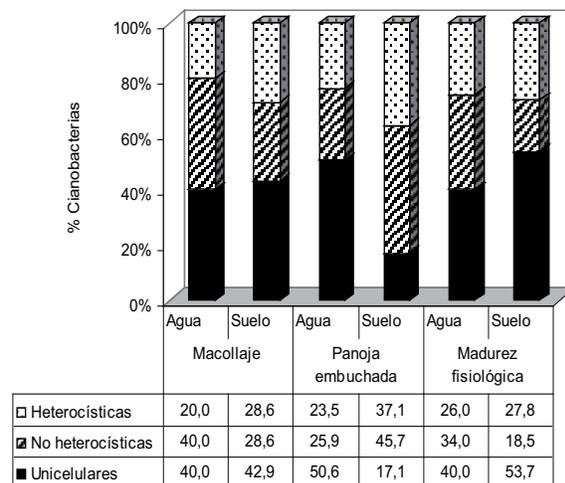


Figura 5. Evolución porcentual de cianobacterias agrupadas por características morfológicas durante el ciclo del cultivo de arroz. Campaña 2004-2005.
Figure 5. Cyanobacterial percentage evolution grouping for morphological characteristics during rice crop cycle. Period 2004-2005.

segunda campaña del cultivo. La proporción alcanzada por este grupo de cianobacterias en los dos años de análisis fue mayor a la mencionada por Prassana & Nayak (2007) para diferentes sitios arroceros de la India. Estos investigadores encontraron que el único género de cianobacteria unicelular en las situaciones analizadas fue *Aphanocapsa* con una proporción que no superó el 3%.

CONCLUSIONES

Los recuentos de cianobacterias totales en agua siguieron una evolución similar a lo largo del ciclo del cultivo en los dos años. La evolución de los recuentos de cianobacterias en suelo exhibió mayor fluctuación que en agua. La cantidad de géneros identificados fue similar en ambos años de evaluación (11 y 10 géneros en el primer y segundo año, respectivamente). Los géneros *Anabaena* y *Nostoc* fueron identificados en la mayoría de las muestras analizadas por ser géneros competitivos y que se adaptan a las condiciones ambientales preponderantes. En el estudio realizado en Entre Ríos se destaca el predominio de cianobacterias unicelulares (*Aphanocapsa*, *Chroococcus* y *Gloeocapsa*) con proporciones que superaron el 40%.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrinolo, D; R Echenique & D Sedan. 2009. Toma de muestra de agua en diferentes ambientes para determinaciones de algas y toxinas. Procesos analíticos. Métodos de detección de cianotoxinas. En: L Gianuzzi (eds.). Cianobacterias y cianotoxinas. Identificación, toxicología, monitoreo y evaluación de riesgo Pp. 117-150. Moglia S.R.L. 238p.
- Benintende, M; S Benintende & J De Battista. 2006. Incubación anaeróbica del suelo como indicador de la capacidad de aporte de N al cultivo de arroz. XX C.A.C.S. Salta. Resumen pag. 217, trabajo en CD-ROM.
- Chunleuchanon, S; A Sooksawang; N Teaumroong & N Boonkerd. 2003. Diversity of nitrogen-fixing cyanobacteria under various ecosystems of Thailand: population dynamics as affected by environmental factors. *World J Microbiol Biotechnol.* 19(2): 167-173.
- Deepa Devi, S; Gunapati Oinam, Indrama Devi, Th; Oinam, Avijeet Singh; Tiwari ON & GD Sharma. 2010. Ecology and biodiversity analysis of cyanobacteria. Assam University of Science & Technology: *Biological and Environmental Sciences* 5(1): 6-13.
- French, E & T Hebert. 1982. Inóculo e inoculación. En: ILCA (ed.). Métodos de investigación fitopatológica. Pp. 168-186. Costa Rica. 275 pp.
- InfoStat. 2007. InfoStat Versión 2007. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Jha, MN; AN Prasad; SG Sharma & RC Bharati. 2001. Effects of fertilization rate and crop rotation on diazotrophic cyanobacteria in paddy field. *World J Microbiol Biotechnol.* 17(5): 463-468.
- Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos. 1999. Carta de suelos de la República Argentina. Departamento San Salvador, Provincia de Entre Ríos. Acuerdo complementario del convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos, EEA Paraná. Serie de relevamiento de recursos naturales N° 18. 114 pp.
- Prasanna, R & S Nayak. 2007. Influence of diverse rice soil ecologies on cyanobacterial diversity and abundance. *Wetlands Ecol Manage.* 15(2): 127-134.
- Prescott, GW. 1962. Division Cyanophyta. In: Brown Company Publishers (ed.). Algae of the Western Great Lakes Area. Pp. 443-560. USA. 977 pp.
- Prósperi, C; S Pons & E Maggi. 1996. Ecological aspects of cyanobacteria from rice fields of Corrientes (Argentina). In: Rahman, M (ed.) Biological nitrogen fixation associated with rice production. Pp. 141-146. Kluwer Academic Publishers. Great Britain. 272 pp.
- Quesada, A & E Fernández-Valiente. 1996. Relationship between abundance of N₂-fixing cyanobacteria and environmental features of Spanish rice fields. *Microb Ecol.* 32(1): 59-71.
- Quesada, A; M Nieva; F Leganés; A Ucha; M Martín; C Prósperi & E Fernández-Valiente. 1998. Acclimation of Cyanobacterial communities in rice fields and response of nitrogenase activity to light regime. *Microb Ecol.* 35: 147-155.
- Ramírez González, A. 2005. Ecología Aplicada. Diseño y análisis estadístico. Universidad de Bogotá Jorge T Lozano. Colección estudios de Ecología. Bogotá. 325 pp.
- Rincón, A; C Prósperi & E Fernández Valiente. 2003. Fijación de nitrógeno en la cianobacteria *Chroococcus limneticus* y su relación con la actividad superóxido dismutasa. *Rev. cienc. tecnol.* 8: 115-123.
- Ruschel, A & M Pontes. 1992. Fixação Biológica da Nitrogenio por microorganismos assimbióticos. En: E Cardoso, S Tsai, MC Neves (eds.). Microbiologia do Solo. Pp. 181-200 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, Brasil. 360 pp.
- Sánchez, CI; SM Benintende & MC Benintende. 2007. Comunidad de cianobacterias durante el ciclo de cultivo de arroz (*Oriza sativa*, L). *CI Suelo* 25(1): 1-6.
- Simpson, E. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688-730.
- Venkataraman, G. 1981. Blue-green algae for rice production. FAO Soils Bulletin N° 46. Rome. 102 pp.