

## IMPACTO DE INOCULACIÓN CON LA BACTERIA NATIVA *Azospirillum* SOBRE *Oryza* *sativa* L. EN CÓRDOBA-COLOMBIA

## IMPACT OF THE INOCULATION OF *Azospirillum* NATIVE ON *Oriza sativa* L. IN THE DEPARTMENT OF CÓRDOBA-COLOMBIA

## IMPACTO DA INOCULAÇÃO DO *Azospirillum* Nativo EM *Oryza sativa* L. NO DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA-COLOMBIA

CECILIA LARA M.<sup>1</sup>, ANDRÉS ALVAREZ S.<sup>2</sup>, LUIS ELIECER OVIEDO Z.<sup>3</sup>

### RESUMEN.

Se evaluó el efecto en el crecimiento y desarrollo de plantas de arroz Paddy, *Oryza sativa* L. variedad comercial FEDEARROZ 733, inoculado con la cepa nativa *Azospirillum* (A5), comparado con un testigo absoluto y un testigo comercial (Urea). Se realizó la multiplicación de la bacteria a diferentes concentraciones: 106, 107 y 108 UFC, en el medio de cultivo NFB líquido a 24°C, agitación constante e incubación por 72 horas. El estudio se realizó bajo condiciones de invernadero con suelo con bajo contenido de materia orgánica; las semillas fueron embebidas en las diferentes concentraciones bacterianas. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y cinco tratamientos: testigo absoluto, testigo comercial y las concentraciones bacterianas 106, 107 y 108 UFC. Se evaluaron las variables altura de planta, longitud de las raíces, número de macollas/planta y peso seco/planta, a los 30, 60, 90 y 120 días después de germinación. El número de panículas/planta, número de granos/planta y el rendimiento en granos se midieron al momento de la cosecha. La concentración 107 UFC produjo 3,74 g/planta; éste valor fue similar al obtenido utilizando fertilizante nitrogenado, demostrándose que las inoculaciones influyen en el crecimiento y producción de las plantas de arroz.

Recibido para evaluación: 23/12/2011. Aprobado para publicación: 24/01/2013

1 Ph.D. Química. Laboratorio de Biotecnología. GRUBIODEQ. Universidad de Córdoba.

2 M.Sc. Laboratorio de Biotecnología. GRUBIODEQ Universidad de Córdoba.

3 M.Sc. Laboratorio de Biotecnología. GRUBIODEQ Universidad de Córdoba

Correspondencia: lara\_mantilla\_cecilia@hotmail.com

## ABSTRACT

*It was evaluated the Paddy plants rice, Oryza sativa L. var. FEDEARROZ 733, growth and development effect, inoculated with the Azospirillum (A5) native strain compared with absolute and commercial control (Urea). The multiplication of the bacterium at different concentrations:  $10^6$ ,  $10^7$  y  $10^8$  UFC, was performed in the liquid culture medium NFB, temperature of  $24^\circ\text{C}$ , constant agitation and time of 72 hours of incubation. The assay was conducted under greenhouse conditions, using plastic pots with soil with low organic matter content and rice seed previously inoculated; a design in complete blocks at random with three repetitions and five treatments was used: absolute control, commercial control and concentrations,  $10^6$  UFC,  $10^7$  UFC and  $10^8$  UFC. Height of plant, length of the roots, number of tiller/plant and dry weight/plants, were evaluated 30, 60, 90 and 120 days after germination. The number of panicles/plants, number of grains/plants and the grain yield by plant were evaluated at the time of the harvest. Concentration of  $10^7$  UFC/mL produced 3,74, g/plant; this value was similar to that obtained using nitrogen fertilizer, demonstrating that inoculations influence growth and production of rice plants.*

## RESUMO

*O efeito no crescimento e desenvolvimento de plantas de arroz paddy, Oryza sativa L. variedade comercial FEDEARROZ 733, inoculados com cepa nativa Azospirillum (A5), em comparação com o controle absoluto e um controle comercial (uréia). Foi realizada a multiplicação de bactérias em concentrações diferentes:  $10^6$ ,  $10^7$  e  $10^8$  UFC no meio de cultura líquido NFB a  $24^\circ\text{C}$  sob agitação constante e incubação durante 72 horas. O estudo foi conduzido em casa de vegetação com baixo teor de matéria orgânica do solo, as sementes foram embebidas em diferentes concentrações bacterianas. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados com três repetições e cinco tratamentos: controle absoluto, controle comercial e concentrações bacterianas  $10^6$ ,  $10^7$  e  $10^8$  UFC. As variáveis foram avaliadas a altura da planta, comprimento da raiz, número de perfilhos e peso seco da planta / planta aos 30, 60, 90 e 120 dias após a germinação. O número de panículas / planta, número de sementes / planta eo rendimento de grãos foram medidos no momento da colheita. Concentração de  $10^7$  CFU produziu 3,74 g/planta; este valor foi similar à obtida com fertilizante de azoto, demonstrando que as inoculações influenciar o crescimento e a produção de plantas de arroz.*

## INTRODUCCIÓN

Los suelos localizados en el trópico generalmente presentan disminución del contenido de materia orgánica y por lo tanto baja cantidad de nitrógeno, lo cual redundaría en un crecimiento deficiente de los cultivos [1]. En el departamento de Córdoba al igual que en otras zonas Colombianas, la gran mayoría de cultivos agrícolas dependen de los fertilizantes químicos, buscando subsanar las deficiencias nutricionales y optimizar los procesos de producción, pese a los altos costos de estos insumos. Se ha

### PALABRAS CLAVE:

Bacteria diazotrofa, Fertilización, Nitrógeno

### KEYWORDS:

Diazotrophic bacteria, Fertilization, Nitrogen

### PALAVRAS-CHAVE:

Bactéria diazotrofa, Fertilização, Nitrogênio

calculado que alrededor del 50 % de los fertilizantes nitrogenados es absorbido por las plantas y el otro 50% permanece en el suelo para la nutrición de los cultivos subsiguientes; pero una gran parte de éste es transformado en  $N_2$  atmosférico mediante el proceso de desnitrificación realizado por microorganismos y otra gran parte es lixiviado a capas inferiores del suelo donde contaminan las aguas subterráneas y el manto freático en forma de nitratos ( $NO_3^-$ ). El uso de los fertilizantes químicos ha aumentado de 3,5 a 80 millones de toneladas, en los últimos 40 años, tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo; igualmente los costos de producción se han incrementado en más de 20 billones de dólares al año [1].

La elaboración de fertilizantes especialmente los nitrogenados, generan agotamiento de la energía natural y producen grandes cantidades de  $CO_2$  contribuyendo potencialmente al calentamiento global y al efecto invernadero; por lo tanto, la necesidad de utilizar alternativas para la fertilización nitrogenada como la fijación biológica, la cual es realizada por microorganismos que tienen la habilidad de convertir el nitrógeno atmosférico  $N_2$  en amonio  $NH_4$  [2,3]. Entre las bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno se encuentran los géneros: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Herbaspirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Gluconacetobacter*, entre otras, las cuales además, tienen la capacidad de estimular el crecimiento y el rendimiento en muchas cosechas debido a la producción de auxinas [2,4]. Las propiedades benéficas de *Azotobacter* y *Azospirillum* se han puesto de manifiesto en una gran variedad de hortalizas, gramíneas y granos [5,6,7]. Investigaciones en cultivos de banano utilizando *A. brasilense* en combinación con fertilizantes (33%) demostraron altos rendimientos (37-39 %) y mejor calidad en la producción del fruto en comparación con el testigo [8]. La aplicación de *A. lipoferum* en cultivos de tomate disminuyó el consumo de fertilizante nitrogenado en un 30%, lográndose rendimientos satisfactorios (30-35% con respecto al control) y contribuyendo de esta forma a minimizar las afectaciones al ambiente [9]; adicionalmente se encontró un efecto positivo sobre el crecimiento de las plántulas, en el estado nutricional del cultivo de tomate con un rendimiento agrícola superior a un 11 % con respecto a las plantas testigo y un alto nivel poblacional en la rizosfera de las plantas inoculadas [10]. La inoculación de *Azospirillum* sobre plántulas de arroz mostró incrementos en el desarrollo de raíces laterales y aumentos significa-

tivos en el peso seco (25 %) con respecto al testigo [11,12].

El arroz es uno de los cultivos más representativos del Departamento de Córdoba (Colombia); se siembran alrededor de 10150 Has con un rendimiento promedio de 6,2 Ton/ha para el sistema arroz riego y de 4,6 Ton/ha para el sistema secano mecanizado [13]. Para la obtención de estos rendimientos es necesario aplicar entre 90 y 160 kg de Nitrógeno/ha, dependiendo de diferentes factores como tipo de suelo, topografía, disponibilidad de riego, etc. [14].

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el crecimiento de plantas de arroz (*O. sativa* L), inoculadas con una cepa nativa del género *Azospirillum*, bajo condiciones de invernadero en la Universidad de Córdoba.

## MÉTODO

### Microorganismo

Se empleó la cepa nativa, *Azospirillum* (A5) perteneciente al banco de cepas del laboratorio GRUBIODEQ, que demostró tener capacidad para fijar nitrógeno y producir ácido indol acético [15,16].

### Producción del microorganismo

La bacteria se multiplicó en medio de cultivo Burks [17] en diferentes concentraciones:  $10^6$ ,  $10^7$  y  $10^8$  UFC/mL, bajo condiciones de temperatura, pH y oxígeno controladas.

### Semillas de arroz

Se utilizó semilla de arroz de la variedad comercial FEDEARROZ 733. Previo al establecimiento del experimento se evaluó la calidad de la semilla mediante una prueba de germinación en caja Petri con papel absorbente y 50 semillas. La evaluación se realizó por triplicado. La germinación se evaluó al cuarto día.

### Unidad experimental

Macetas plásticas (diámetro de 27 cm) con suelo con bajo contenido de materia orgánica (1,2%) y poco disturbado bajo condiciones de invernadero; temperatura promedio de 28°C, humedad relativa del 80%, altura de 15 m.s.n.m. y una precipitación anual de 1200 mm.

## Tratamientos

Los tratamientos consistieron de:

**T0**= Testigo absoluto: semillas de arroz sembradas sin inoculación y sin aplicación de fertilizante nitrogenado.

**T1**= Semilla de arroz inoculada con *Azospirillum*(A5) a una concentración de  $10^6$  UFC/ mL.

**T2**= Semilla de arroz inoculada con *Azospirillum*(A5) a una concentración de  $10^7$  UFC/mL.

**T3**= Semilla de arroz inoculada con *Azospirillum*(A5) a una concentración de  $10^8$ UFC/mL.

**T4**= Testigo comercial: semillas de arroz sembradas con fertilización nitrogenada equivalente a 120 kg/ha de nitrógeno, en tres aplicaciones iguales a los 20, 45 y 60 días después de siembra (dds).

En los tratamientos con inoculantes, las semillas fueron embebidas durante dos horas con la bacteria [7].

## Parámetros

Se evaluó el crecimiento y desarrollo de las plantas de arroz, durante el ciclo del cultivo (30; 60; 90 y 120 dds). Se tomaron medidas de: a) altura promedio de la planta; b) peso fresco y seco por planta; c) promedio de macollas; d) tiempo de floración; e) longitud de raíces; f) número de panículas cosechadas por planta; y g) rendimiento de granos/planta.

En un ensayo adicional se evaluó la fertilidad de cada tratamiento para determinar el aporte de nitrógeno de acuerdo con la concentración inicial de bacteria en UFC/mL. Para la cuantificación del nitrógeno se tuvo en cuenta la materia orgánica según el método Walkley y Black.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones [18]. Los datos correspondientes a las variables de respuesta altura de planta, longitud de raíces y materia seca se sometieron a los respectivos análisis de regresión mientras que las variables rendimiento de granos/planta, número de macollas/planta se sometieron a análisis de varianza usando el paquete estadístico SAS (versión 6.12, año 2005).

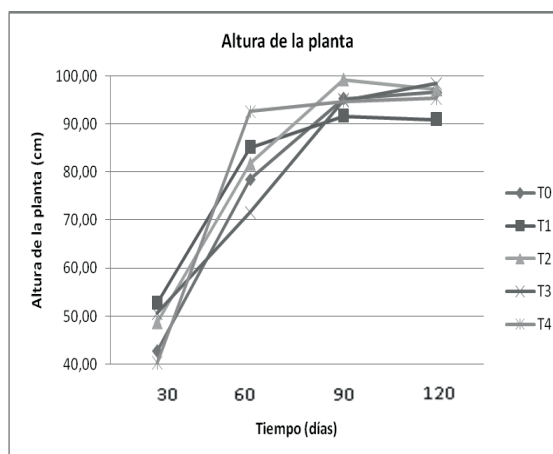
## RESULTADOS

### Altura de planta

Los datos obtenidos de esta variable (figura 1) muestran que todos los tratamientos evaluados presentaron un crecimiento inicial muy rápido entre los 30 y los 60 dds (rango, 40,20 cm a 92,89 cm). Posteriormente se observa disminución en la velocidad de crecimiento en el periodo comprendido entre los 60 y los 90 dds, cuando la planta alcanzó su mayor altura (99,63 cm). Este comportamiento se puede atribuir a características propias de la especie cultivada.

Se observa además que a los 30 dds los tratamientos T1, T2 y T3, correspondientes a la semilla inoculada con la cepa nativa *Azospirillum* (A5), tiene una altura inicial mayor (48,7 – 52,7 cm) que los tratamientos T0 (Testigo absoluto, 42,13 cm) y T4, (Testigo comercial, 40,7 cm), mostrando un efecto favorable producido por la bacteria. Los resultados coinciden con los reportados por investigadores [7], quienes trabajaron con una cepa del mismo género en semillas de arroz y encontraron un rápido crecimiento inicial en las plantas atribuido a la fijación de nitrógeno y a la producción de agentes reguladores de crecimiento. A 60 dds se observó que el tratamiento T4 presentó la mayor altura promedio, siendo esta una manifestación del efecto de las aplicaciones del fertilizante nitrogenado. El análisis de regresión señaló un comportamiento muy similar entre los distintos tratamientos evaluados. Según el análisis de varianza se encontró que no hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $Pr > F = 0,072$ ); salvo una ligera desviación en T1 (semilla inoculada con  $1 \times 10^6$  UFC/mL) que muestra un mayor

Figura 1. Crecimiento de las plantas de arroz



valor inicial pero un menor incremento en la altura por cada periodo de evaluación.

### Longitud de raíces

A los 30 dds se observó que las plantas pertenecientes a los tratamientos T0, T1 y T2 presentan una longitud de raíces en un rango de 11 a 12,5 cm de longitud, mientras que los tratamientos T3 y T4 fueron más cortas, (5 a 7 cm de longitud en promedio) (figura 2). A los 60 días se observó un aumento en la longitud de las raíces en todos los tratamientos siendo los más representativos T1 (15,1 cm) y T2 (16,3 cm); la longitud de las raíces disminuyeron en los siguientes muestreos, (figura 2). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores [7] quienes afirman que la inoculación de semilla de arroz con *Azospirillum* produce un mayor enraizamiento de las plantas, lo cual les permite explorar una mayor superficie de suelo.

El análisis de regresión de la variable longitud de raíces muestra tres tendencias claramente definidas. Los tratamientos T3 y T4 presentan una longitud inicial de alrededor de 7 cm, la cual se va incrementando; esto es, a medida que transcurre el tiempo aumenta la longitud de las raíces. El tratamiento T0 presenta una longitud de raíces muy similar a través de la duración del experimento; los tratamientos T1 y T2 tienen una longitud inicial mayor pero va decreciendo después de los 60 dds.

Esta situación, posiblemente puede ser ocasionada por la textura franco-arcillosa del sustrato, la cual se fue compactando impidiendo el crecimiento de la raíz a mayor profundidad en la materia.

El análisis de varianza mostró que a pesar de las diferencias observadas por la inoculación de la bacteria, no se alcanzó un nivel de significancia ( $Pr > F = 0,154$ ).

### Peso seco de planta

Se observó un aumento en materia seca que sigue un comportamiento lineal desde la germinación hasta los 90 dds, siendo el tratamiento T4 el que presentó los mayores valores (12,8 g) y T0 presentó los menores valores (8,1g) para esta variable, (figura 3).

Los restantes tratamientos: T1, T2 y T3, correspondientes a la semilla inoculada con diferentes concentraciones de la bacteria, presentaron un comportamiento muy similar entre ellos (rango de 9,8 a 10,1 g) siendo superiores al T0; estos resultados concuerdan con los de

Figura 2. Crecimiento de las raíces de las plantas

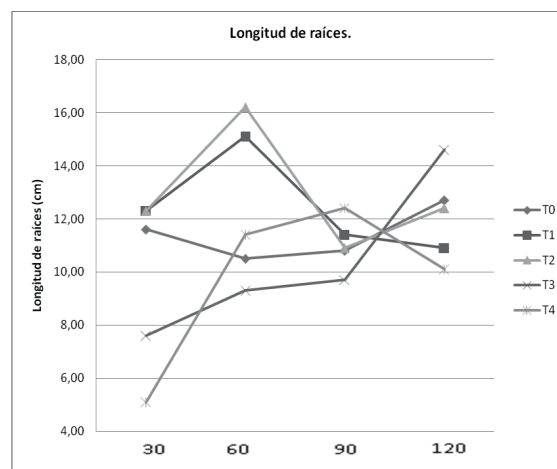
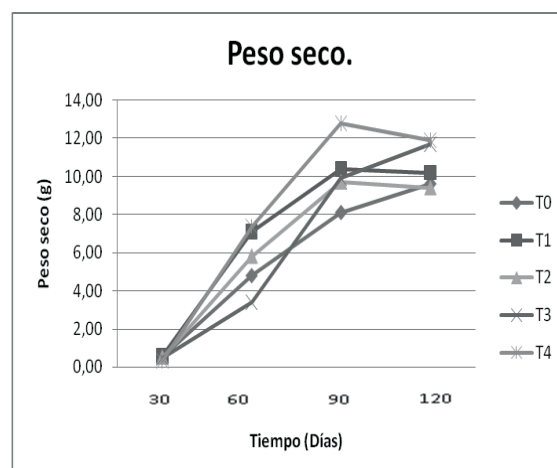


Figura 3. Acumulación de materia seca en plantas



otros autores [6,19,20], quienes afirman que las bacterias del genero *Azospirillum* promueven el desarrollo de la parte aérea y por lo tanto el aumento en peso seco.

El tratamiento T0 (Testigo absoluto) presentó el menor peso seco durante el desarrollo de la investigación, lo cual puede atribuirse a una menor toma de nitrógeno y por lo tanto menor crecimiento de la planta.

Análisis de varianza correspondientes a los pesos secos a 90 y 120 dds no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ( $Pr > F = 0,535$  y  $Pr > F = 0,790$ ), respectivamente.

### Número de macollas por planta

En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos para ésta variable; se observa que el número de ma-

**Cuadro 1.** Número de macollas por planta

Fuente de variación	G.L	C.M	F	Pr>F
Bloques	2	0,06669	0,265	0,761
Tratamientos	4	0,333334	1,428	0,308n.s.
Error	8	0,233333		

n.s. Indica diferencias no significativas

collas por planta presentó un comportamiento muy similar para todos los tratamientos durante todo el ciclo del cultivo manteniéndose entre dos y tres macollas/planta. El análisis de varianza de los datos obtenidos realizado al momento de la cosecha indican que no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ( $Pr>F= 0,308$ ) por lo tanto no hubo incidencia de inoculación de la bacteria en el parámetro evaluado.

### Número de panículas cosechadas por planta

Los resultados obtenidos del seguimiento de esta variable se observan en el cuadro 2 e indican que no hubo diferencias significativas ( $Pr> F= 1,00$ ), entre los tratamientos evaluados; es decir que las aplicaciones de la bacteria nativa *Azospirillum* y los controles positivos y negativos no influyeron en el número de panículas cosechadas las cuales estuvieron en promedio de 2,3 panículas/planta.

### Número de granos por planta

Los datos obtenidos para esta variable y descritos en el cuadro 3, indican que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados, observándose un promedio general de 119,13 granos por planta. Estos resultados son atribuidos a las características genéticas de la variedad de arroz utilizada y coinciden con los de otros investigadores [7] quienes indican que el principal efecto de la inoculación de semilla de arroz con bacterias fijadoras de nitrógeno se observa en el desarrollo de las raíces y del tallo.

### Rendimiento expresado en peso de granos/planta

Los mayores rendimientos de granos se obtuvieron con los tratamientos T4, Testigo comercial, con un peso de 3,90 g/planta y T2, inoculación de la semilla con la concentración  $1 \times 10^7$  UFC/mL, con 3,74 g/planta de arroz paddy; seguidos por los tratamientos T3, inoculación de la semilla con concentraciones  $1 \times 10^8$

**Cuadro 2.** Número de panículas por planta

Fuente de variación	G.L	C.M	F	Pr>F
Bloques	2	1,05048	4,501	1,00
Tratamientos	4	0,125143	0,5363	1,00 n.s.
Error	8	0,23335		

n.s. Indica diferencias no significativas

**Cuadro 3.** Número de granos por planta

Fuente de variación	G.L	C.M	F	Pr>F
Bloques	2	3352,4667	2,1716	0,083
Tratamientos	4	2218,0667	1,4368	0,306n.s.
Error	8	1543,7167		

n.s. Indica diferencias no significativas

UFC/mL, con 2,82 g/planta y T1, inoculación de semilla con una concentración de  $1 \times 10^6$  UFC/mL, con 2,64 g/planta, respectivamente. El tratamiento Testigo absoluto (T0) presentó los menores rendimientos con 2,22 g, (figura 4).

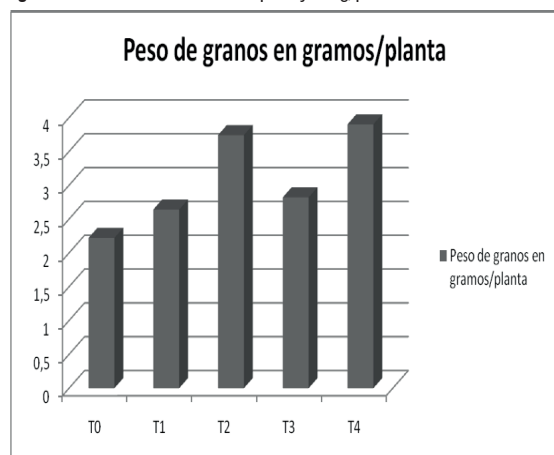
El análisis de varianza indica que los tratamientos T4 (Testigo comercial) y T2 (semilla inoculada con la bacteria a una concentración  $1 \times 10^7$  UFC/mL), no presentaron diferencias significativas; esto sugiere que el aporte de nitrógeno, proporcionado por la bacteria a dicha concentración, es semejante al ofrecido por el fertilizante químico, demostrándose las bondades derivadas del uso de la cepa nativa de *Azospirillum*(A5). Estos dos tratamientos presentaron diferencias significativas con relación a los restantes tratamientos utilizados.

Los tratamientos T4 y T2 demostraron diferencias significativas con relación al tratamiento T0 ( $Pr> F= 0,018$ ) tal como se observa en el cuadro 4.

Los resultados coinciden con los obtenidos en otras investigaciones [6, 7] donde afirman que la inoculación de la semilla de arroz con la bacteria *Azospirillum* se traduce en un aumento de los rendimientos y en la producción de granos.

En Colombia se conocen pocos trabajos de investigación relacionados con el efecto producido por la inoculación de la semilla de arroz con bacterias del género *Azospirillum*. Estudios realizados con diez líneas interespecíficas de arroz inoculadas con bacterias fijadoras

**Figura 4.** Rendimiento de arroz paddy en g/planta



Peso granos (g)

de nitrógeno (*Azospirillum* y *Azotobacter*) y testigo con fertilización comercial, no encontraron ningún efecto, concluyendo que estos géneros bacterianos son típicos de la microbiota nativa del cultivo de arroz [21].

Las investigaciones llevadas a cabo en cultivos de arroz inoculados con *Azospirillum* [22] demostraron incrementos en el largo de la raíz (5 %), altura de la planta (15 %), aumento del número de hojas (17%), área foliar total (44%) y peso seco (17%). Beneficios que se manifiestan fundamentalmente en el desarrollo y aumento en el número de pelos radicales de plantas de arroz inoculadas con *Azospirillum* son descritos [23]. Otros estudios [24] evidencian incrementos en el desarrollo vegetativo de la variedad INIA508-Tinajones de arroz, en condiciones de invernadero, con índices de efectividad de hasta 21,77% en altura, así como 102,06% y 126,11% en materia seca de parte aérea y raíces. Asimismo se demostró la posibilidad de utilizarlas junto con dosis mínimas de urea.

El resultado obtenido en la presente investigación se considera de gran importancia porque demuestra que mediante la inoculación de la semilla de arroz

con una concentración adecuada de la cepa nativa *Azospirillum*(A5) es posible disminuir, la aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis en el cultivo del arroz sin afectar el rendimiento. De esta manera se contribuye a minimizar los costos de producción representados en la compra de fertilizantes y a reducir los niveles de contaminación ambiental derivados del uso inapropiado de estos insumos.

Además de los resultados anteriores se destaca que es posible obtener otros beneficios derivados del uso de los microorganismos denominados "Rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal" como son la producción de reguladores de crecimiento [25].

El resultado de los análisis de suelo de cada uno de los tratamientos evaluados mostró que todos los tratamientos correspondientes a la inoculación de semilla con distintas concentraciones de la cepa nativa de bacteria (T1, T2 y T3) presentaban un contenido de materia orgánica muy similar al tratamiento testigo comercial, (el análisis estadístico no arrojó diferencias significativas). Los anteriores niveles de materia orgánica estuvieron alrededor de 2,29% mientras que el testigo absoluto (T0) presentó un valor de 1,76%. Los resultados reflejan la capacidad de la cepa nativa *Azospirillum*(A5) para fijar nitrógeno atmosférico y son consistentes con los datos obtenidos en la variable rendimiento en granos por planta.

Los inoculantes microbianos son un componente vital de los sistemas sustentables, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos. Se espera que la información obtenida en esta investigación beneficie directamente a los cultivadores de arroz del departamento de Córdoba, como una proyección para disminuir costos de producción y reducir la contaminación ambiental derivada del uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados en cultivos comerciales.

## CONCLUSIONES

La inoculación de la semilla de arroz con la cepa del genero *Azospirillum*(A5), influyó favorablemente en el crecimiento y desarrollo de las plantas de arroz, promoviendo el enraizamiento inicial.

Es posible reducir las cantidades de fertilizantes nitrogenados aplicados a los cultivos de arroz mediante

**Cuadro 4.** Rendimiento de grano en g/planta.

Fuente de variación	G.L	C.M	F	Pr>F
Bloques	2	2,23822	8,70	0,0990
Tratamientos	4	1,57327	6,11	0,0148 *
Error	8	0,25737		

\* Indica diferencias significativas

la inoculación de la semilla con concentraciones adecuadas de la cepa nativa del género *Azospirillum* (A5) favoreciendo el rendimiento de producción granos/plantas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio se constituyen en la base para el desarrollo de bioinsumos viables y amigables con el ambiente, que contribuyen positivamente a recuperar la fertilidad y productividad del suelo, mejorando la nutrición vegetal y la producción agrícola.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Córdoba por financiar el presente proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] TRAUT, C., IGLESIAS, M., SOTELO, C. y PEREIRA, L. Utilización de inoculantes conteniendo *Azospirillum* brasilense en el cultivo del arroz, *Oryza sativa*. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas. 2006 [online]. Available: <http://www.unne.edu.ar> [citado 10 de julio de 2009].
- [2] PEDRAZA, R. Recent advances in nitrogen-fixing acetic acid bacteria. *J. Food Microbiol.*, 125, 2008, p. 25–35.
- [3] UNKOVICH, M. y BALDOCK, J. Measurement of asymbiotic N<sub>2</sub> fixation in Australian agriculture. *Soil Biology & Biochem.*, 40, 2008, p. 2915–2921.
- [4] KIZILKAYA, R. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecol. Engineer.*, 33, 2008, p. 150–156.
- [5] MAYEA, S., CARONE, M., NOVO, R., BOADO, I., SILVEIRA, E., SORIA, M., MORALES, Y. y VALIÑO, A. *Microbiología Agropecuaria*. Tomo II. 4 Ed. La Habana (Cuba): Felix Varela, 1998, 860p.
- [6] FIRPO, R., SANTOS, D. y PELTZER, H. Inoculación de Trigo con *Azospirillum*: su efecto sobre el rendimiento ante distintas dosis de urea. Estación Experimental Paraná, Entre Ríos. Paraná (Argentina): Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2003. 8 p.
- [7] CURÁ, J., RIBAUDO, C., GAETANO, A. y GHI-GLIONE, H. Utilidad de las bacterias promotoras del crecimiento y fijadoras de nitrógeno en el cultivo del arroz durante las primeras etapas del desarrollo. Foro. 10- 13. Buenos Aires (Argentina): Universidad de Buenos Aires, Fac de Agronomía, Dpto química, 2005.
- [8] BASET MIA, M.D., SHAMSUDDIN, Z., WAHAB, Z. y MARZIAH, M. High-yielding and quality banana production through plant growth-promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation. *Fruits.*, 60, 2005, p. 179-185.
- [9] TERRY, E., LEYVA, A., HERNANDEZ, A. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 7(2), 2005, p. 47-54.
- [10] TERRY, E. Efectividad agronómica de biofertilizantes en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) [Tesis M.Sc. Ciencias Agrícolas]. La Habana (Cuba): ISCAH, 1998, 92 p.
- [11] CASTILLA, L. Manejo del nitrógeno en arroz de riego. *Rev. arroz*, 50 (439), 2002, p. 4-8.
- [12] VELAZCO, A. Utilización de *Azospirillum* brasilense en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) sobre un suelo Hidromórfico Gley de la provincia de Pinar del Río [Ph.D. Tesis de doctorado]. La Habana (Cuba): Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Instituto de Ecología y Sistemática, 2005. p 101.
- [13] FEDEARROZ (Federación Nacional de Productores de Arroz). II Censo nacional arrocero. Bogotá (Colombia): 2000, p 15-16.
- [14] CASTILLA, L. A. Evaluación de líneas interespecíficas de arroz (*Oryza* spp) a la inoculación con las bacterias fijadoras de nitrógeno *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum amazonense* en un Typic haplustalf de la meseta de Ibagué. Colombia. [Ph.D. suelos y aguas]. Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia., 2005, 156p.
- [15] LARA, C. y VILLALBA, M. Evaluación Química de la capacidad nitro fijadora de bacterias nativas de los géneros *Azotobacter* spp y *Azospirillum* en la región de San Carlos Córdoba, Colombia [Trabajo de grado Química]. Córdoba (Colombia). Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Básicas, 2007, p 72.
- [16] LARA, C., OVIEDO A. y ALEMÁN L. Evaluación química de la auxina: ácido indolacético a partir de aislados microbianos nativos con potencial biofertilizante para una alternativa de agricultura limpia en el valle del sinu medio. (departamento de Córdoba). Menorías VII Simposio Latinoamericano de Química Analítica Ambiental y Sanitaria. Medellín (Colombia): Tomo I, 2006, p. 123-128.



- [17] PARK, M., CHUNGWOO, K., YANGA, J., HY-OUNGSEOK, L., WANSIK S., SEUNGHWAN, K. and TONGMIN, S. Isolation and characterization of diazotrophic growth promoting bacteria from rhizosphere of agricultural crops of Korea. *Microb. Research.*, 160, 2005, p. 127-133.
- [18] FERNÁNDEZ, F. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. Cali(Colombia): Ediciones PUND, 1985, 120 p.
- [19] MURTHY, M. and LADHA, J. Influence of Azospirillum inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. *Plant. Soil.*, 108, 1988, p. 281-285.
- [20] O´HARA, G., DAVEY, R. y LUCAS, J. Effect of nitrogen on the yield response of Pennisetum americanum, Triticumaestivum and Zea mays to inoculation with Azospirillum brasilense under temperate conditions. *Biol. Fertil Soils.*, 4, 1987, p. 67-72.
- [21] VALLEJO, M., BONILLA, C. y CASTILLA, L. Evaluación de la asociación bacterias fijadoras de nitrógeno- líneas interespecíficas de arroz- nitrógeno, en Typic haplustalf. Ibagué, Colombia. *Acta Agronómica.*, 57(1), 2008, p. 43-49.
- [22] PEDRAZA, R., BELLONE, C., CARRIZO S., FERNANDES, P. y DOS SANTOS, K. Azospirillum inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. *J. Soil Biology.*, 30, 2008, p. 1-8.
- [23] PAZOS, M. y HERNÁNDEZ, A. Evaluación de cepas nativas del género Azospirillum y su interacción con el cultivo del arroz. *Cultivos Tropicales.*, 22 (4), 2001, p. 25-28.
- [24] GARCÍA, F., MUÑOZ, H., CARREÑO, C. y MENDOZA, G. Caracterización de cepas nativas de Azospirillum spp. y su efecto en el desarrollo de Oryza sativa L. "arroz" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria.* 1, 2010, p.107-116.
- [25] LUCAS, J.A., RAMOS, B., MONTES, F., OJEDA, J., MEGIAS, M. y GUTIÉRREZ F. Use of two PGPR strains in the integrated management of blast disease in rice (Oryza sativa) in Southern Spain. *Field. Crops Research.* 114 (9), 2009, p. 404-410