

**Universidad Nacional de Río Cuarto Facultad de Agronomía y
Veterinaria**

Trabajo final presentado para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

**“Análisis de la respuesta de microorganismos solubilizadores de
fósforo inoculados en un cultivo de maíz, en labranza convencional “**

Alumno: Joaquín Ariel Poletti

DNI.: 25.782.254

Director: Dra. Carmen Olmedo

Codirector: Alicia Thuar

Río Cuarto- Córdoba

Junio de 2008

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Titulo del trabajo final: ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE
MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO
INOCULADOS EN UN CULTIVO DE MAÍZ, EN LABRANZA
CONVENCIONAL.**

Autor: Joaquín Ariel Poletti

DNI: 25.782.254

Directora: Dra. Carmen Olmedo

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del jurado
evaluador:**

Fecha de presentación: -----/-----/-----

Aprobado por secretaria académica: -----/-----/-----

Secretario académico

RESUMEN

El uso de bacterias solubilizadoras de fósforo inoculadas en semillas de cultivares comerciales, incrementa la absorción de fósforo por la planta y el rendimiento del cultivo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de bacterias solubilizadoras de fósforo en un cultivo de maíz, realizado en labranza convencional. El estudio se realizó en cercanías de Rodeo Viejo a 45 km de Río Cuarto. Durante el ciclo de desarrollo del cultivo se realizaron las siguientes evaluaciones: en V5 se evaluó densidad de plantas, altura de plantas, diámetro del tallo, longitud radical, peso fresco de biomasa y raíz, peso seco de biomasa y raíz. En madurez fisiológica se evaluó densidad de plantas, espigas por planta, hileras de granos por espiga, relación grano/marzo, peso de 1000 semillas y rendimiento (Kg./ha). Los resultados en V5 mostraron un mayor desarrollo en el tratamiento inoculado con media dosis de fertilizante, esto puede deberse a la mayor eficiencia en la utilización del fósforo agregado como fertilizante, solubilizado por *Bacillus spp.* En madurez fisiológica los resultados mostraron diferencias significativas en rendimiento. Los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos inoculado + 50%P, fertilizado con 100%P y fertilizado con 50%P; por lo tanto podemos decir que la eficiencia en el uso de fósforo a través de *Bacillus spp.* incrementó el crecimiento de las plantas y el rendimiento en grano del cultivo.

Palabras clave: *Bacillus spp.*, solubilizadores de fósforo, biofertilización, labranza convencional.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE RESPONSE OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA INOCULATED IN A CORN CROP, IN CONVENTIONAL TILLAGE.

The use of phosphate solubilizing bacteria inoculated in commercial crop seeds increases the phosphorus absorption by the plant and crop yield. The objective of the paper was to evaluate the effect of phosphate solubilizing bacteria in a corn crop, carried out in conventional tillage (CT). The study was carried out in proximity of Rodeo Viejo, 45 km to the west of Río Cuarto. During the crop development the following evaluations were carried out: in five leaves (V5) density of plants, height of plants, diameter of stems, length of roots, moists and dry weight of air biomass and roots. In physiological ripening: density of plants, number of spikes, relation grain/marlo, weight of 1000 grains and crop yield. The results in V5 showed a greater development in inoculated-fertilized treatments, this could be due to a higher efficiency of utilization of phosphorus fertilizer, solubilized by *Bacillus spp.* In the physiological ripening the results showed significant differences in crop yield. The highest yields were in inoculated + 50%P and fertilized treatments. We can say that the efficiency of phosphorus used by *Bacillus spp.*, increases the development of plants and crop yield.

Key words: *Bacillus spp.*, phosphate solubilizers, biofertilization, conventional tillage.

ÍNDICE DEL TEXTO

Resumen.....	iii
Summary.....	iv
Introducción.....	1
Hipótesis.....	13
Objetivos.....	13
Materiales y métodos.....	14
Resultados y Discusión.....	18
Conclusión.....	32
Bibliografía.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.....	5
Figura N° 2.....	11
Figura N° 3.....	11
Figura N° 4.....	14
Figura N° 5.....	18
Figura N° 6.....	19
Figura N° 7.....	20
Figura N° 8.....	21
Figura N° 9.....	22
Figura N° 10.....	23
Figura N° 11.....	24
Figura N° 12.....	25
Figura N° 13.....	27
Figura N° 14.....	28
Figura N° 15.....	29
Figura N° 16.....	30

INTRODUCCIÓN:

Los sistemas de producción y el manejo tecnológico de los cultivos no pueden ser diseñados al margen de un análisis de su sustentabilidad. El concepto de sustentabilidad, desde que fuera propuesto en el informe Brundtland (1987), ha adquirido relevancia, al establecer nexos entre la producción, el ambiente y el futuro. En una definición: sustentables son los sistemas capaces de lograr la mayor producción con la menor cantidad de efectos negativos sobre el ambiente. Hoy es reconocido que la aplicación de tecnologías que contribuyan al aumento de la productividad sin comprometer su sustentabilidad, es la base para un camino de transformación de la agricultura, que contribuya efectivamente al desarrollo del sector agropecuario y del país en su conjunto (Satorre , 2002)

La técnica de la Biofertilización es una tecnología basada en el nuevo concepto de la inoculación con microorganismos en semillas de cultivares comerciales, por sus efectos en la: **solubilización de fósforo**, fijación biológica de nitrógeno, biocontrol de fitopatógenos y producción de hormonas que mejoran el desarrollo de cultivos generando un mayor rendimiento y mejor calidad fitosanitaria. Son productos hechos a partir de microorganismos de distintos géneros, los cuales, una vez aplicados al suelo o a las semillas, y a través de distintos mecanismos, propician o generan funciones de fertilización al aumentar la disponibilidad de los nutrientes presentes en el suelo.

La fertilidad de un suelo se define como su capacidad para proporcionar a las plantas un medio físico, que permita su establecimiento, desarrollo y suministro, en cantidad y forma adecuada, los nutrimentos que necesitan para satisfacer sus necesidades durante toda su existencia. Las propiedades químicas, físicas, biológicas y climáticas que actúan normalmente en interacción, son las que identifican la fertilidad de los suelos. Entre estos factores, quizás los componentes biológicos sean los últimos que se han tomado en cuenta en investigación y producción de los cultivos, además hoy se acepta que la actividad de los microorganismos no solo es un factor clave en la fertilidad del suelo, sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de sistemas naturales como los agroecosistemas (Trasar *et al.*, 2000).

Los Microorganismos del Suelo:

La importancia de los microorganismos en ambientes naturales deriva de su cantidad,

diversidad y sobre todo, de su gran espectro de actividades que, en la mayoría de los casos repercuten en los seres superiores con los cuales comparten un determinado hábitat. Concretamente en el suelo, los microorganismos desarrollan una amplia gama de acciones que inciden en el desarrollo y nutrición vegetal. Sin embargo, el nivel de actividad de las poblaciones microbianas de diversos suelos es muy bajo, salvo en el microhábitat donde haya una suficiente cantidad de fuente de carbono metabolizable (C-lábil). Cuando se introducen plantas en el sistema, la situación de los microbios cambia drásticamente, ya que las plantas son las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo, de los que los microorganismos se nutren cuando se encuentran en la zona próxima a la raíz y proliferan en ella (Barea y Olivares, 1998).

El término Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal o **PGPR** (del inglés; Plant Growth Promoting Rhizobacteria), fue empleado por primera vez en 1978 por Kloepper y Schroth, para describir un grupo de bacterias rizosféricas que producen un beneficio en el crecimiento vegetal después de su inoculación sobre las semillas.

Las bacterias que proporcionan algún beneficio a las plantas son de dos clases, aquellas que establecen una relación simbiótica con las plantas y aquellas que son de vida libre, pero a menudo se las encuentra cerca, sobre, o incluso dentro de las raíces de las plantas (Kloepper et al., 1988; Van Peer y Schippers, 1989; Frommel et al., 1991). Dentro de las bacterias que actúan como PGPR y son de vida libre, son considerados diferentes microorganismos, incluyendo especies de *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Acetobacter*, *Burkholderia* y *Bacillus* (Brown, 1974; Elmerich, 1984; Kloepper et al., 1988; Bashan y Levany, 1990; Okón y Labandera-Gonzalez, 1994). Las posibilidades de manipular las poblaciones microbianas rizosféricas en un cultivo por inoculación de bacterias benéficas para incrementar el crecimiento de las plantas se demostró en forma prometedora en estudios de laboratorio e invernadero, pero las respuestas en el campo han sido variables. Los beneficios ambientales potenciales de la técnica, promueven la reducción en el uso de agroquímicos y la compatibilidad con las prácticas de manejo sustentable, son el motor de esta tecnología. El progreso reciente en la comprensión de las interacciones biológicas que ocurren en la rizósfera y de las prácticas requeridas para la formulación y aplicación del inoculante, deberían incrementar la confiabilidad de esta tecnología en el campo y facilitar su desarrollo comercial. (Bowen y Rovira, 1999).

Mecanismos de acción de las PGPR:

Las bacterias PGPR pueden inducir la promoción del crecimiento directa o indirectamente. Las formas directas incluyen producción de fitohormonas, liberación de fosfatos y

micronutrientes, fijación de nitrógeno y producción de sideróforos. Las formas indirectas de acción, alteran la ecología y el ambiente de la raíz, actuando como agentes de biocontrol y reduciendo las enfermedades, por liberación de sustancias antibióticas, por competencia con agentes deletéreos y por metabolismo de productos tóxicos.

Mecanismos de promoción directa del crecimiento:

- Producción de fitohormonas: Las PGPR pueden beneficiar directamente el crecimiento vegetal a través de la producción de fitohormonas (Lippman et al., 1995), entre ellas se encuentran auxinas, citocininas y giberelinas. Estos compuestos incrementan el número de raíces laterales y de pelos radicales, aumentando notablemente la superficie de la raíz y, en consecuencia, favoreciendo una mayor absorción de nutrientes (Steenhoudt and Vanderleyden, 2000). La atención principal ha sido enfocada en la hormona vegetal auxina (Brown, 1974; Tien et al., 1979).
- Solubilización de fosfatos: Del contenido total de fósforo del suelo, menos del 5% está disponible para la planta, debido a su relativa inmovilidad y a la concentración extremadamente baja del mismo. El aprovechamiento de dicho nutriente depende de la actividad microbiana, la inoculación de semillas con microorganismos solubilizadores de fósforo frecuentemente estimula el crecimiento vegetal, por incremento de la absorción de fósforo (Chabot et al., 1993; Kucey et al., 1989).
- Fijación de nitrógeno: La fijación biológica del nitrógeno, es el proceso por el cual las plantas se asocian con bacterias capaces de transformar el nitrógeno atmosférico en amoníaco, y de esta forma asimilan el nitrógeno antes fijado por la bacteria. La fijación de nitrógeno no simbiótica es realizada por microorganismos de vida libre, los cuales fijan el nitrógeno en asociación con las raíces de las plantas (Frioni, 1999).
- Producción de sideróforos: Dado que la cantidad de hierro aprovechable del suelo es demasiado baja para mantener el crecimiento microbiano, los microorganismos del suelo excretan moléculas quelantes, los cuales capturan al Fe^{+3} , transportándolo al interior de la célula microbiana y luego lo hacen aprovechable para el crecimiento de la bacteria (Neilands and Leong, 1986; Briat, 1992).

Mecanismos de promoción indirecta del crecimiento:

- Inducción de resistencia sistémica: Las rizobacterias no patógenas pueden inducir una resistencia sistémica en las plantas similar a la resistencia sistémica adquirida (SAR), cuando son atacadas por patógenos. La evolución de diferentes cepas bacterianas en la resistencia sistémica inducida (SIR), ha sido demostrada contra hongos, bacterias y virus en diversos cultivos. Determinadas bacterias inducen la resistencia sistémica produciendo diferentes compuestos, tales como lipopolisacáridos, sideróforos y ácido salicílico; sin embargo, esta inducción depende de que las bacterias colonicen el sistema radical en número suficiente (Van Loon , 1997).
- Producción de sideróforos: El ion Fe^{+3} es quelado por los sideróforos excretados por las PGPR y no queda disponible para los microorganismos patógenos del suelo.
- Competencia por nutrientes y en el establecimiento sobre la superficie de la raíz: Por éste mecanismo los microorganismos pueden proteger a la planta de agentes fitopatógenos (Kloepper et al., 1988; O'Sullivan and O'Gara, 1992).

A pesar de su importancia, la disponibilidad de P en los suelos de la región ha disminuído considerablemente, por causa de los elevados índices de extracción a los que este nutriente se ha visto sometido, mediante elevadas cosechas y esquemas de fertilización que contemplan solamente la reposición parcial de los niveles extraídos. Si bien en el largo plazo la forma más apropiada de mejorar la nutrición fosforada de los cultivos es incrementar su disponibilidad en el suelo, la inoculación con microorganismos favorables puede contribuir a aumentar la absorción tanto del P del suelo como de aquel agregado como fertilizante. Así, podría mejorarse el estado nutricional del cultivo aún en condiciones de baja fertilidad, mientras se implementan estrategias que lleven el P a niveles más convenientes. Debido a la tendencia actual hacia un incremento en las dosis aplicadas, es importante discriminar los efectos de estos microorganismos bajo diferentes niveles de fertilidad. Es deseable que los aumentos de rendimiento por el uso de Hongos Micorríticos , Pseudomonas (Psm) y otros microorganismos considerados como PGPR se mantengan en altos niveles de fertilización. Así, se podría implementar una estrategia que permita combinar una alta eficiencia de uso de los nutrientes en el corto plazo, con un esquema de fertilización que posibilite incrementar gradualmente su disponibilidad en los suelos a lo largo del tiempo (Ferraris y Couretot, 2006).

El fósforo (P), después del nitrógeno (N), es el nutriente que más frecuentemente afecta la producción de cultivos. El P forma parte de enzimas, ácidos nucleicos y proteínas y está involucrado en prácticamente todos los procesos de transferencia de energía. El contenido total de P en el suelo está controlado por el material parental y el clima. En general, las zonas más húmedas son las más deficientes en este nutriente (Tisdale et al., 1993). Del contenido total de P en el suelo, sólo las fracciones inorgánicas y orgánicas solubles y lábiles están disponibles para las plantas durante el ciclo del cultivo. Las fracciones de P indicadas en la Figura 1 mantienen un equilibrio dinámico y complejo (Stewart y Sharpley, 1987). Solamente una pequeña fracción del P está en forma soluble, pero esta fracción está en equilibrio con la fracción lábil que comprende el P orgánico fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos a las arcillas. La mayor parte del P del suelo está en formas insolubles como fosfatos de calcio (Ca), hierro (Fe) y aluminio (Al), fosfatos retenidos en el humus o fijados fuertemente en las arcillas.

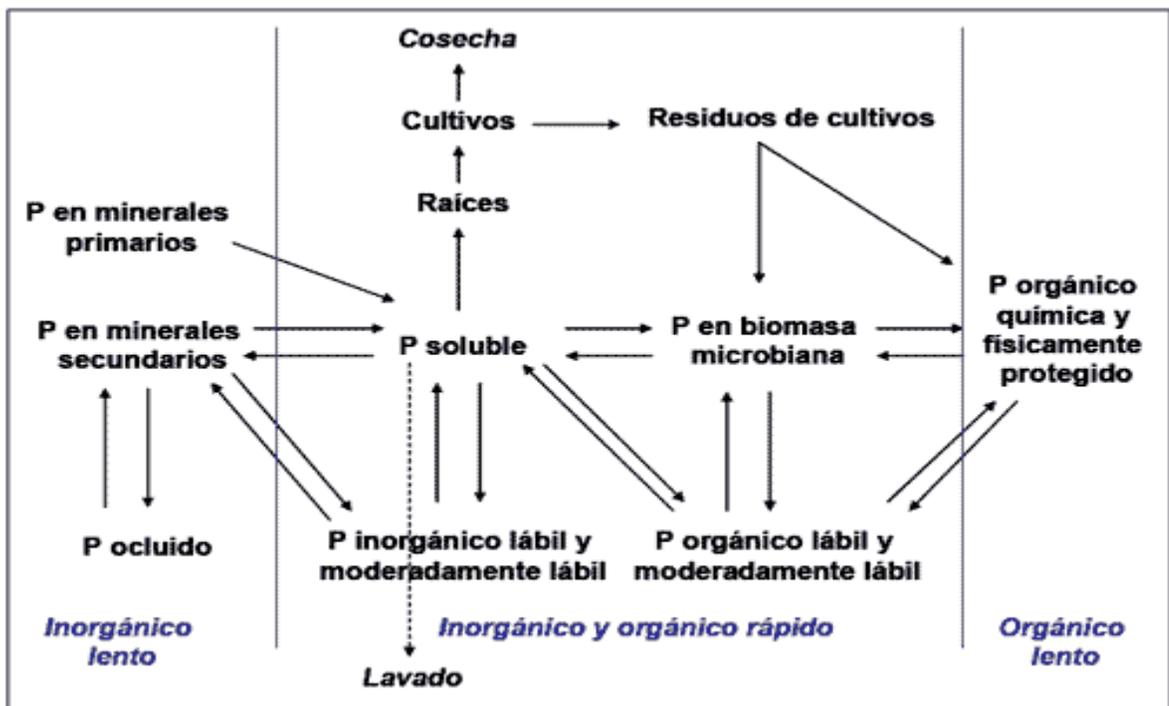


Figura 1. Ciclo del fósforo en el sistema suelo-planta. Adaptado de Stewart y Sharpley (1987).

La disminución de la disponibilidad de P provoca cambios en su dinámica en los suelos, debido al poder regulador que presenta, aún cuando se utilicen dosis insuficientes de fertilizante, el suelo es capaz de abastecer a los cultivos a través de la desorción y disolución de fracciones no disponibles para la planta (Heredia, 1998). Sin embargo, este efecto regulador también provoca que en suelos empobrecidos el fertilizante aplicado sea inmovilizado en mayor medida

(Gutiérrez Boem et al., 2002), ya que los suelos tienden a recomponer las fracciones de P adsorbido y/o fijado. La utilización de microorganismos que ayuden a la solubilización de este elemento podría permitir una mayor eficiencia de absorción de los fertilizantes en suelos de bajo P.

El fósforo es absorbido mayormente durante el crecimiento vegetativo, y luego, la mayor parte del fósforo absorbido es transferido hacia frutos y semillas durante los estadios reproductivos. La deficiencia de fósforo en las plantas se manifiesta como un crecimiento retardado con reducción de la respiración, de la fotosíntesis y de la expansión de células y hojas, y a menudo un color verde oscuro por alta concentración de clorofila, y también una coloración rojiza (por aumento en la formación de antocianinas). Se ha reportado que el nivel de abastecimiento de fósforo durante los estadios reproductivos, regula la partición de fotosintatos entre la fuente y los órganos reproductivos (Marschner, 1993).

La zona que rodea a la raíz, la rizósfera, es relativamente rica en nutrientes debido a la liberación de hasta un 40 % de los fotoasimilados de la planta desde la raíz (Lynch and Whipps, 1991). En consecuencia la rizósfera sustenta a un gran número de microorganismos activos capaces de generar efectos benéficos, neutrales o detrimentales en el crecimiento de la planta. Hoy en día, se reconoce la importancia de las poblaciones microbianas de la rizósfera para el mantenimiento de la salud de la raíz, absorción de nutrientes y tolerancia a distintos tipos de estrés (Bowen and Rovira, 1999; Cook, 2002). Estos microorganismos benéficos pueden ser un componente importante dentro de las prácticas de manejo para lograr el rendimiento esperado, el cual ha sido definido como el rendimiento del cultivo limitado solamente por el ambiente natural físico del mismo y su potencial genético (Cook, 2002).

ANTECEDENTES:

En la historia de la agricultura, desde hace mucho tiempo se conoce que la presencia de microorganismos en el suelo favorece el desarrollo de las plantas, los agricultores sabían empíricamente, que al mezclar un suelo en el cual previamente se había cosechado una leguminosa con otro suelo en el cual iba a crecer una no leguminosa, a menudo se incrementaba el rendimiento. Esta práctica de mezclar suelos “naturalmente inoculados” con semillas, llegó a ser el método recomendado de inoculación en Estados Unidos a fines del Siglo XIX (Smith, 1992). Una década después fue registrada la primera patente (“Nitragin”), para la inoculación de plantas con *Rhizobium* sp. (Nobbe and Hiltner, 1896).

Ensayos a campo en la India y en la entonces URSS, han demostrado que el uso de Microorganismos Solubilizadores de Fosfato o PSMs (del inglés, Phosphate Solubilizing Microorganisms) pueden incrementar los rendimientos de los cultivos hasta en un 70% (Verma, 1993; Wani y Lee, 1992; Subba Rao, 1982a). Los cultivos fueron: avena, mostaza, remolacha azucarera, repollo, tomate, trébol egipcio, **maíz**, papa, arroz, garbanzo y soja. Experimentos in vitro han demostrado la disolución de los fosfatos inorgánicos por los PSMs (Barea et al., 1983). Resultados de pruebas en invernadero indican un rendimiento superior en trigo y cebolla fertilizados con fosfato inorgánico cuando las semillas fueron inoculadas con PSMs. El incremento en los rendimientos es mayor cuando se combina la inoculación con PSMs, con algún hongo micorrízico, que cuando los primeros son inoculados solos (Young, 1990; Toro et al., 1997; Sing y Kapoor, 1999). Es como si los PSMs disolvieran la fracción moderadamente soluble del fosfato, la cual es tomada por los micelios del hongo a través de más de un proceso, incluyendo la liberación de ácidos orgánicos (Illmer et al., 1995) y la solubilización de fosfatos de calcio (Illmer y Scinner, 1995).

Experiencias realizadas por la cátedra de microbiología agrícola de la UNRC en maíz inoculado con bacterias PGPR mostraron un incremento del 50 % en el peso seco de granos y en el número de granos por espiga y también se observó un incremento en el volumen de la raíz (Fulchieri y Frioni, 1994). Los resultados de cuatro años indican que la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento produjo incrementos de rendimiento estadísticamente significativos y los incrementos de rendimiento más estables se observaron cuando la inoculación fue acompañada de una adecuada fertilización con nitrógeno y fósforo (García et al., 2006).

Otros estudios realizados para demostrar que se puede mejorar la disponibilidad de fósforo, fueron realizados con *Bacillus sp.*, demostrando que estas bacterias pueden incrementar la disponibilidad de fósforo para las plantas porque ellas solubilizan el fosfato orgánico mediante la acción de fosfatasas (mineralización), o por solubilización de fosfatos inorgánicos no disponibles, mediante ácidos orgánicos. Lucangelli y Bottini (1996) demostraron que la aplicación de microorganismos fijadores de vida libre incrementaron el largo de los entrenudos en maíz y arroz. Belloné et al. (1999) registraron mejoras en el peso del sistema radical y en parámetros de la parte aérea en un cultivo de maíz inoculado con bacterias PGPR, por otro lado Tien et al. (1979) obtuvieron resultados similares en un cultivo de mijo.

La solubilización de fosfato puede ser importante para la planta ya que es un elemento esencial y por su baja disponibilidad en el suelo (Goldstein , 1986).

Las propiedades destacables de los biofertilizantes pasan por un mejor aprovechamiento de la riqueza nutricional del suelo y de los nutrientes aportados mediante fertilización.

Efectos de la siembra directa (SD) sobre el ambiente edáfico:

La introducción de la SD genera cambios en el ambiente edáfico que afectan el comportamiento de los nutrientes en el suelo. La presencia de residuos en superficie y la falta de remoción del suelo alteran algunas propiedades físicas que influyen directa e indirectamente en la dinámica de los nutrientes (Ferrerías et al., 1999; Ferrerías et al., 2000; Marelli, 2001; Fabrizzi et al., 2004). Bajo SD se origina un ambiente más húmedo que en labranza convencional (LC) debido principalmente a la cobertura superficial que promueve una menor tasa de evaporación del agua. Las variaciones de temperatura son también menores bajo SD debido al efecto aislante de los residuos, al menor albedo y al mayor contenido de agua (Ferrerías et al., 1999, Fabrizzi et al., 2004). La falta de remoción altera otras propiedades del ambiente físico del suelo como la densidad aparente, la porosidad, la aireación y la resistencia a la penetración (Ferrerías et al., 2000).

Efectos comparados entre Siembra Directa (SD) y Labranza Convencional (LC), en diferentes propiedades del suelo:

Investigaciones científicas a nivel mundial muestran que la Siembra Directa, en comparación con la preparación convencional de los suelos con el arado, tiene efectos positivos sobre las características químicas, físicas y biológicas del suelo (Karlen, et al., 1994, Kochhann, 1996). Primero porque reduce drásticamente la erosión a valores similares a la regeneración natural del suelo, segundo, porque no sólo mantiene, sino aumenta los tenores de materia orgánica en el suelo, y tercero, porque la temperatura del suelo se mantiene baja.

Efecto de la SD en las propiedades químicas del suelo. La Siembra Directa, en comparación con la preparación convencional de los suelos, tiene efectos positivos en las propiedades químicas más importantes del suelo. Bajo el sistema de Siembra Directa se registran mayores valores de materia orgánica, nitrógeno, **fósforo**, potasio, calcio, magnesio, como también mayores valores de pH y mayor capacidad de intercambio catiónico, pero menores tenores de Al (Sidiras y Pavan, 1985; Lal 1976: Lal, 1983; Crovetto, 1992).

Efecto de la SD en las propiedades físicas del suelo. Bajo el sistema de la Siembra Directa, en comparación a la preparación convencional, se registran mayores tasas de infiltración (Roth, 1985), lo que lleva a una drástica reducción de la erosión. Las investigaciones a campo muestran que en Siembra Directa se miden mayores tenores de humedad y temperaturas más bajas del suelo (Kemper y Derpsch, 1981, Sidiras y Pavan, 1986). Al mismo tiempo se registra una mayor densidad del suelo (Lal, 1983;), que algunos científicos califican como negativa. En el Paraguay, Brasil y Argentina sin embargo, a pesar de la mayor densidad de los suelos bajo Siembra Directa, se logran mayores rendimientos con este sistema.

Efecto de la SD en las propiedades biológicas del suelo. Dado que no se utilizan implementos que destruyen los nichos y canales que construyen los microorganismos, se registra una mayor actividad biológica bajo el sistema de Siembra Directa. Además, los microorganismos no mueren de hambre bajo este sistema (como en el caso de los suelos descubiertos de la agricultura convencional), porque siempre se encuentran sustancias orgánicas en la superficie que proveen los alimentos necesarios. Finalmente, las condiciones más favorables de humedad y temperatura también tienen un efecto positivo en la vida de los microorganismos del suelo. Por ello, en el sistema de Siembra Directa se registran mayores cantidades de: lombrices, artrópodos (acarina, colémbolas, insectos), microorganismos (rizobios, bacterias y actinomicetos), así como también hongos y micorrizas (Kemper y Derpsch, 1981, Kronen, 1984).

Aspectos fitosanitarios. Algunas enfermedades aumentan con la Siembra Directa (Homechin, 1984; Igarashi, 1981; Reis, 1985; Reis e Santos, 1987; Reis et. al., 1988.). Por ello, este sistema no debe practicarse en forma de monocultivo. Generalmente, una rotación de cultivos equilibrada con el uso de abonos verdes es suficiente para neutralizar este aspecto negativo de la Siembra Directa. Con respecto a las plagas, dicho sistema puede tener efectos positivos como negativos, lo cual depende del insecto dañino específico como de las condiciones climáticas en los diversos años. Generalmente aumenta la diversidad de insectos, ácaros etc., porque en las capas de mulch encuentran mejores condiciones para su reproducción. Esto tiene la ventaja de que también se desarrollan muchos insectos útiles (predadores), con lo que surge un equilibrio y consecuentemente en muchos casos se puede disminuir el uso de productos fitosanitarios. La Siembra Directa potencia el control biológico e integrado de plagas.

Aspectos ambientales. La preparación intensiva del suelo acelera la mineralización de la materia orgánica y convierte residuos de plantas en dióxido de carbono (CO₂), que es liberado a la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero, o sea al calentamiento global del planeta.

Investigaciones recientes realizadas en los Estados Unidos por el USDA (United States Department of Agriculture), con sofisticados equipamientos muestra, que el carbono del suelo es perdido muy rápidamente en forma de dióxido de carbono minutos después de que el suelo es preparado intensamente, y que la cantidad está directamente relacionada con la intensidad de la preparación del suelo. Después de 19 días, las pérdidas totales de carbono en parcelas de trigo fueron hasta cinco veces más altas que las de las parcelas no preparadas. En realidad, las pérdidas de carbono del suelo fueron iguales a la cantidad que había sido adicionada por los residuos del cultivo anterior dejados en el campo.(CTIC, 1996).

Esto significa, que la pérdida de carbono del suelo (en forma de dióxido de carbono - CO₂) durante las operaciones de preparación, es lo que disminuye los niveles de materia orgánica del suelo. Las emisiones de dióxido de carbono enriquecen la atmósfera con este elemento contribuyendo en el calentamiento global del planeta. Mientras los combustibles fósiles son los mayores productores de dióxido de carbono, se estima que la adopción generalizada de la labranza conservacionista, podría compensar hasta 16% de las emisiones mundiales provenientes de combustibles fósiles (CTIC, 1996).

Dinámica del fósforo bajo siembra directa:

Una característica de la dinámica de P en los sistemas de SD es la estratificación a profundidad. Se encuentran mayores concentraciones de P disponible en la capa superficial (0 - 10 cm) debido a la acumulación de residuos y a la aplicación superficial de fertilizantes fosfatados (Calviño et al., 2000) (Figura 2).

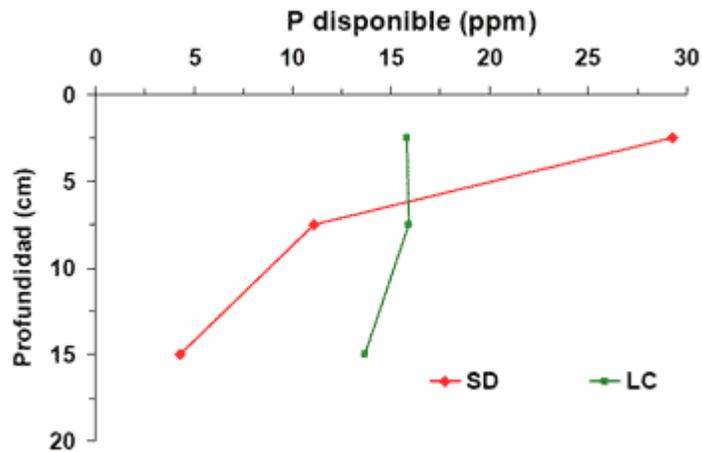


Figura 2. Estratificación de fósforo en profundidad bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Fuente: Ricardo Bergh. Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina.

El reciclaje de P a través de la biomasa microbiana es también influenciado por los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo bajo SD. El mayor contenido de agua y de C y N orgánicos se reflejan en una mayor población microbiana con respecto al suelo bajo LC. El contenido de P en la biomasa microbiana es también mayor en los suelos bajo SD (Figura 3) (Zamuner et al., 2004a).

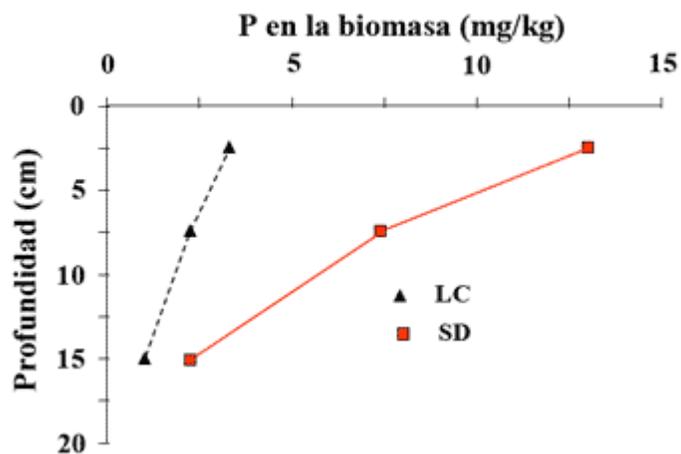


Figura 3. Fósforo en la biomasa microbiana bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) en el sudeste de Buenos Aires, Argentina (Zamuner et al., 2004a).

En suelos altamente meteorizados con deficiencia, la disponibilidad de P para las plantas

puede depender más del reciclaje del P orgánico de la biomasa microbiana que del P inorgánico (Tiessen y Shang, 1998).

HIPÓTESIS:

Microorganismos del suelo favorecen la solubilización del fósforo edáfico y del fósforo adicionado como fertilizante, ésto beneficia el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz, en labranza convencional.

OBJETIVOS:

General:

- Evaluar el efecto de bacterias solubilizadoras de fósforo en el crecimiento de un cultivo de maíz, realizado en labranza convencional.

Específicos:

- a) Analizar la respuesta a la interacción con *Bacillus sp.* en tratamientos con y sin aplicación de fertilizante fosforado.
- b) Evaluar el efecto de la promoción del crecimiento en V5 y componentes del rendimiento del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Ubicación y disposición del ensayo:

El ensayo se realizó en el establecimiento de Hugo Reineri, ubicado en la zona de Rodeo Viejo a 45 km. de la ciudad de Río Cuarto. El lote donde se sembró provenía de una alternancia de 6 años de maíz para pasto en el verano y una consociación de avena-melilotus como verdeo de invierno, bajo labranza reducida. Debido a estas características se lo consideró adecuado para evaluar el desempeño de los microorganismos solubilizadores de fósforo en la solubilización del fósforo edáfico y el adicionado mediante fertilización como fosfato diamónico.

El ensayo se distribuyó en parcelas de 30 m de largo por 4.9 m de ancho, el tipo de diseño utilizado, fue el de bloques aleatorizados con 3 repeticiones, se contó con 5 tratamientos distintos y la unidad experimental fue una parcela.

Tratamientos:

- 1) Inoculado con solubilizador de fósforo.
- 2) Fertilizado con 52 kg. de fosfato diamónico e inoculado con solubilizador de fósforo.
- 3) Fertilizado con 90 kg. de fosfato diamónico.
- 4) Fertilizado con 52 kg. de fosfato diamónico
- 5) Testigo (semilla sin inocular, sin fertilizante).

Figura 4 Características del híbrido y la conducción de la siembra:

Tipo de cruzamiento	Simple
Días a floración	69-71
Días a madurez relativa	122
Tipo de grano	Colorado duro
Resistencia al vuelco	Excelente
Resistencia al quebrado	Excelente
Comportamiento ante sequía	Muy bueno
Comportamiento ante Mal de Río Cuarto	Tolerante
Tipo de ciclo	Largo
Densidad en plantas/ha. (a cosecha)	65000 - 80000

Fuente: Vademécum de campaña 2004.

La semilla utilizada fue Morgan Mill 522, del semillero Dow Agrosiences, y se sembró a 0,7m con una sembradora Giorgi Precisa 8000. La densidad fue de 5 plantas por metro lineal para una densidad teórica de 71500 semillas por hectárea.

Descripción del ciclo ontogénico de la planta de maíz:

La sucesión de etapas fenológicas ha sido generalmente ordenada según escalas de diferente complejidad y detalle, según el objetivo perseguido. La escala fenológica mas utilizada para describir el desarrollo del cultivo de maíz es la de Ritchie y Hanway (1982), que utiliza caracteres morfológicos externos (macroscópicos). En ella se pueden distinguir dos grandes períodos: el vegetativo y el reproductivo. El primero se subdivide en estadíos identificados con la letra V y un subíndice, que señala el número de orden de la última hoja completamente expandida (lígula visible), al momento de la observación.

El índice VE se utiliza para identificar la emergencia del cultivo. El número total de subdivisiones del período vegetativo varía con el genotipo y el ambiente considerados, por modificar ambos el número final de hojas. Una vez producida la aparición de todas las hojas, el estado es definido por la aparición de la panoja (VT: panojamiento). El período reproductivo, subdividido en estadíos identificados con la letra R y un subíndice, comienza con la emergencia de los estigmas (R₁), continúa con el cuajado de granos (R₂ o estado de ampolla) y el llenado de los granos (R₃: grano lechoso, R₄: grano pastoso y R₅: grano duro o indentado); y finaliza con la madurez fisiológica (R₆).

Protección del cultivo:

En todos los tratamientos se aplicó Atrazina (principio activo formulado al 50%), 2 lts/ha, para el control de malezas anuales de hoja ancha y algunas gramíneas; y Gammaciotrina 25 gr/ha, para el control de oruga cortadora, ambos tratamientos se realizaron en preemergencia. Luego en V2 (estado vegetativo con 2 hojas), se aplicó Foramsulfurón + Iodosulfurón (Equip WG), 30+2 gr/ha, para controlar gramíneas anuales, gramíneas perennes y Cyperus sp.

Fertilización:

En el mes de setiembre de 2005, antes de la siembra, se tomó una muestra de los primeros 20 cm del suelo, compuesta por 10 submuestras obtenidas siguiendo el patrón de muestreo en

“M”, logrando homogeneidad y representatividad, a la misma se le practicó un análisis químico para la determinación de fósforo y el resultado obtenido fue de 5,00 ppm. El método utilizado fue Kurtz y Bray I.

Las cantidades de fosfato diamónico indicadas en el listado de “tratamientos” se aplicaron al momento de la siembra y en el estadio V5 se refertilizó con 100 kg/ha de urea (46-0-0) entre líneas incorporado, para todos los tratamientos.

Inoculación:

Cepa: El inóculo llevado a campo se hizo crecer en un medio de cultivo líquido que contenía caldo nutritivo (Pluriprptona 5 gr/lts mas extracto de carne 3 gr/lts) la cantidad de ufc/ml de ese inóculo fue de 1×10^7 .

Mediciones realizadas:

En el estadio V5 , se extrajeron al azar 5 plantas de cada parcela, evitando las borduras y en el momento se midió densidad de plantas por metro cuadrado. Las demás mediciones se realizaron en el laboratorio de microbiología de la UNRC el mismo día de la extracción. En este estadio llamamos tallo a lo que en realidad es un pseudo tallo de sección elíptica formado por las vainas de las hojas, el mismo se midió en plantas frescas con un calibre a cinco centímetros del corte realizado para separar la raíz, siempre tomando el mayor valor de la elipse; la altura se midió con una cinta métrica desde el corte antes mencionado hasta la punta de la planta; también se midió el peso seco de la parte aérea y radicular, luego de haber secado las mismas en horno a 95° C por 72 horas. Para determinar DLR (Densidad de Longitud de Raíces) se utilizó el método de la grilla, expresando los resultados en centímetros/centímetros cuadrados, mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\pi \times N \times A}{2 \times H}$$

R = Longitud total de raíz.

N = Número de intersecciones.

A = Área del rectángulo (26cm x 20cm)

H = 130 x 2

$\Pi = 3.14$

Al momento de cosecha, con el cultivo maduro, se midió el número de plantas por metro cuadrado, se cosecharon las espigas de esas plantas y en el momento se midió el número de espigas por planta , para luego calcular el número de espigas por metro cuadrado. Luego una vez más en el laboratorio se deschalaron las espigas y se midió el número de hileras de grano por espiga y cantidad de granos por hilera, después se desgranaron las mismas y se midió el peso de mil semillas. Finalmente se estimó el rendimiento a través de las siguientes fórmulas:

$$\text{Rendimiento} = \text{N}^\circ \text{ granos/m}^2 \times \text{Peso 1 grano (g)} = \text{g/m}^2 \times 10 = \text{Kg/ha}$$

Todos los resultados obtenidos se procesaron mediante el análisis estadístico de ANOVA, para establecer diferencias entre tratamientos.

RESULTADOS:

Al observar las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo en la figura 5 notamos una distribución uniforme de las mismas y al compararlas con la media histórica de la zona vemos que si bien llovió menos en los meses de diciembre y enero, el cultivo no sufrió déficit hídrico en el período crítico, el cual para maíz se extiende desde 15 días antes de R1 hasta 15 días después. El total de precipitaciones registradas desde la siembra hasta R6 fue de 566 mm.

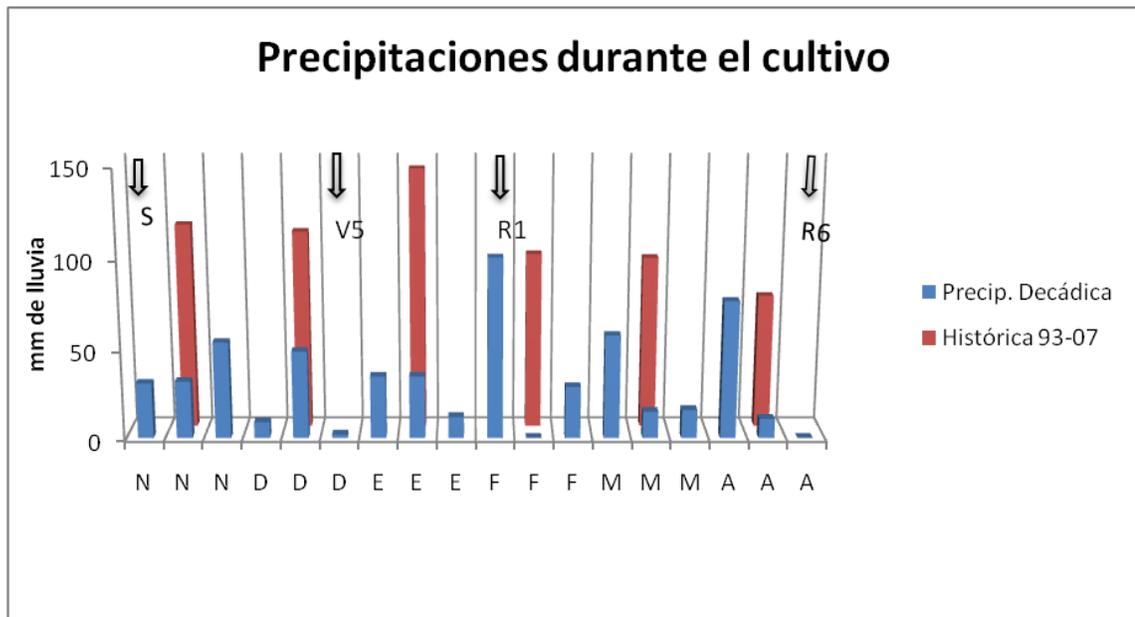


Figura 5. Datos climáticos observados durante el ciclo del cultivo. Fuente: Cátedra de Agrometeorología, UNRC.

Resultados y Discusión en V5:

-DENSIDAD DE PLANTAS (pl/m²)

Tratamiento	Medias
50% P	5.33 A
100% P	5.73 A
Inóculo solo	6.3 A
Testigo	6.33 A
Inóculo + 50% P	6.73 A
DMS:=1.70816	CV 10.09

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

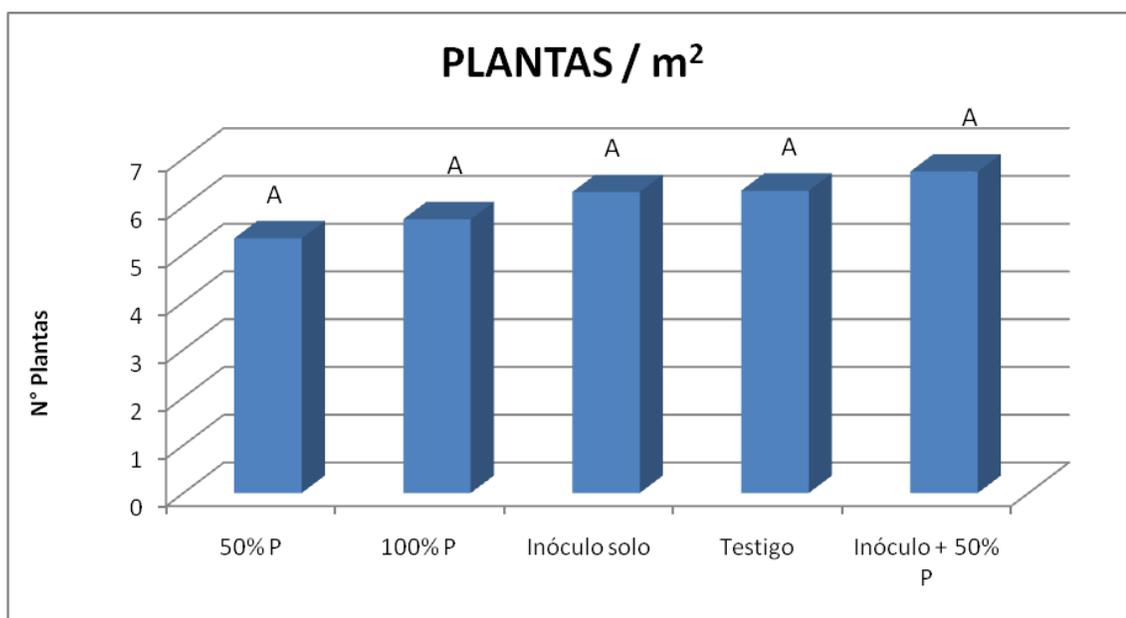


Figura 6: Se observa densidad de plantas.

La densidad de plantas en V5 en todos los casos fue inferior a la densidad teórica de siembra, esta disminución en la cantidad de plantas logradas puede deberse a problemas en la siembra y en la germinación de las semillas. A pesar de que no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, el tratamiento inoculado-fertilizado con 50 % P midió 67300 pl/ha y el tratamiento fertilizado con 50 % P midió 53300 pl/ha, 5,9 % y 25,5% respectivamente menos que la cantidad de semillas sembradas (71500 semillas/ha), estas diferencias pueden haber influido en el peso seco de las plantas por competencia interespecífica (Figura 10).

-DIÁMETRO DEL TALLO (cm)

Tratamiento	Medias		
Inóculo solo	1.91	B	
Testigo	2.11	B	A
100% P	2.42	B	A
50% P	2.51		A
Inóculo + 50% P	2.53		A
DMS:=0.51129		CV 7.89	

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

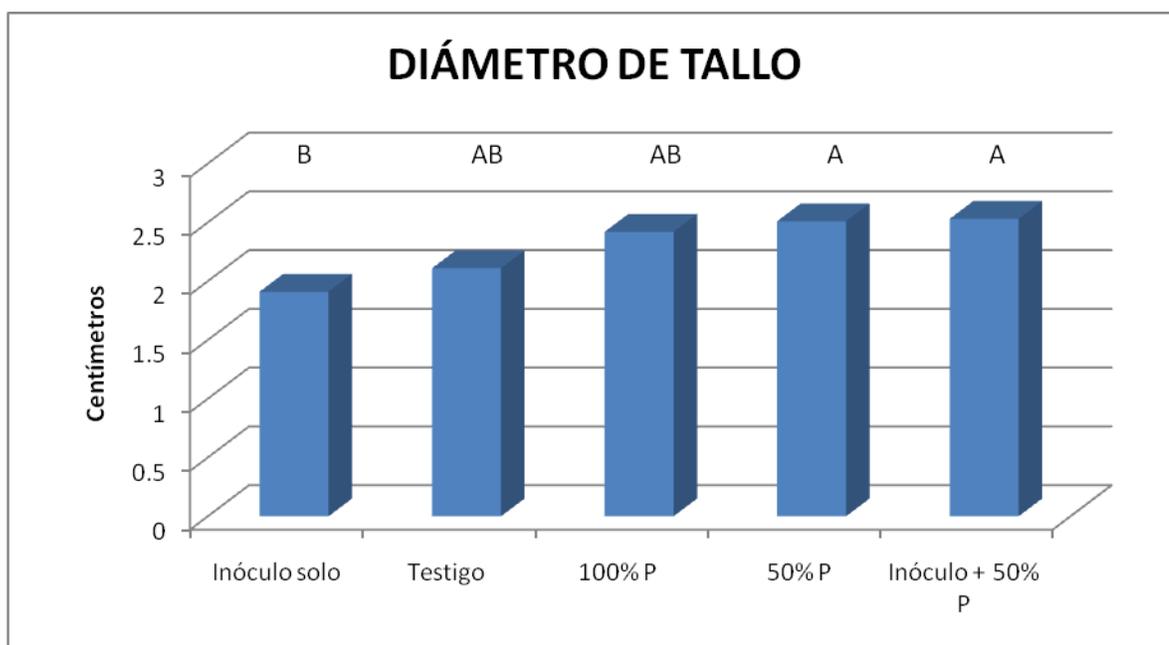


Figura 7: Se observa diámetro de tallo.

Para los resultados de diámetro de tallo se observó mayor desarrollo en los tratamientos Inoculado-fertilizado con 50 % P y Fertilizado con 50 % P, y se encontraron diferencias significativas entre éstos últimos y el tratamiento Inóculo solo. En casi todos los parámetros evaluados en V5, el tratamiento Inóculo solo es el de menor valor, esto concuerda con lo expresado por Calviño et. al. (2000), quien encontró menores concentraciones de fósforo disponible en la capa superficial (0-10 cm), en lotes bajo LC en comparación con lotes bajo SD, esto puede ocurrir porque no hay acumulación de residuos; también por la falta de aplicación de fertilizantes fosforados (el análisis del lote dio 5 ppm), si a esto añadimos lo expuesto por Barea y Olivares (1998), quienes afirman que los microorganismos PGPR se alimentan y proliferan principalmente gracias a los exudados de las raíces de las plantas; entonces lo que puede haber sucedido en este caso es que ante tan bajos niveles de fósforo disponible los microorganismos en cierta forma inmovilizaron el fósforo no dejándolo disponible para las plantas.

-ALTURA DE PLANTAS (cm)

Tratamiento	Medias		
Inóculo solo	76.17	C	
Testigo	84.83	C	B
50% P	94.53		B A
100% P	99.1		B A
Inóculo + 50% P	100.4		A
DMS:=15.02643		CV 5.85	

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

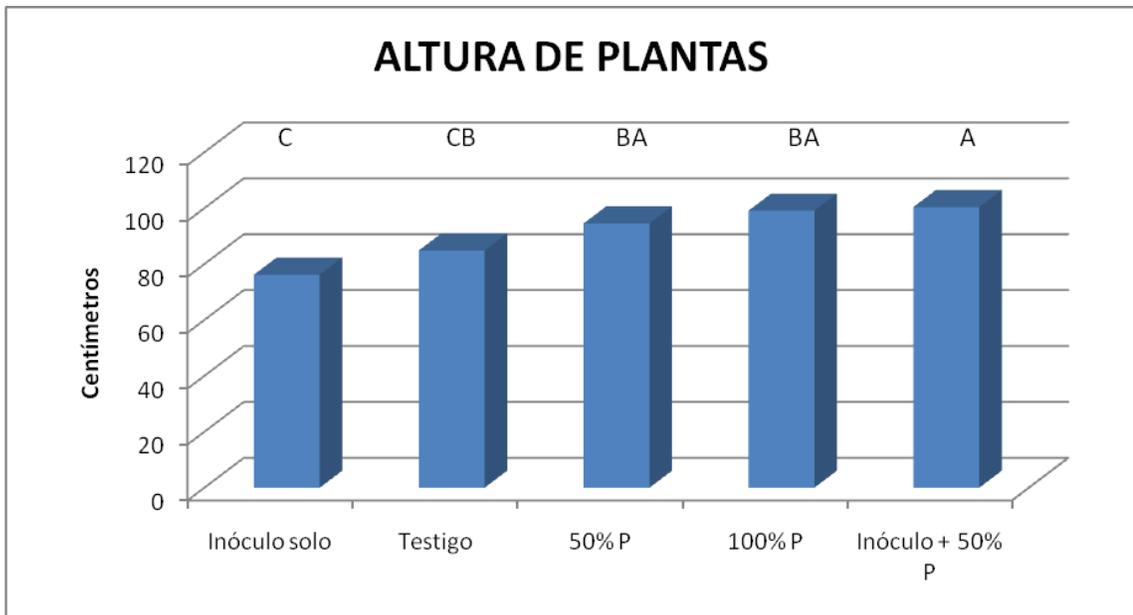


Figura 8: Se observa altura de plantas.

El tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P fue el que tuvo mayor altura y con valores muy próximos siguieron los tratamientos Fertilizado con 100 % P y Fertilizado con 50 % P; los cuales presentan diferencias significativas con los tratamientos Testigo e Inóculo solo, éste último difiere significativamente de todos los tratamientos realizados. Esto concuerda con lo demostrado por Lucangelli y Bottini (1996), quienes observaron un incremento en el largo de los entrenudos en maíz y arroz inoculados con microorganismos fijadores de vida libre.

-DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES (cm/cm²)

Tratamiento	Medias		
Inóculo solo	52.83	B	
Testigo	54.63	B	
100% P	64.67	B	A
50% P	74.83	B	A
Inóculo + 50% P	79.6		A
DMS:=23.77959			CV 12.91

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

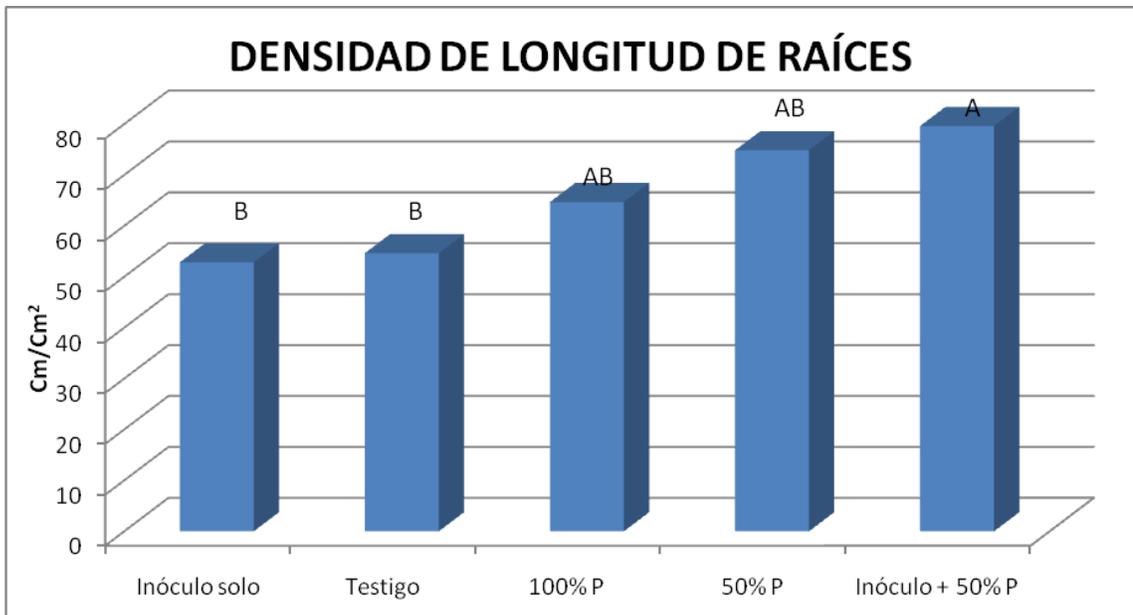


Figura 9: Se observa densidad de longitud de raíces.

Para el caso de DLR se observa el mismo patrón que en los casos anteriores, siendo mayor el desarrollo en Inoculado-fertilizado con 50 % P, encontrándose diferencias significativas con los tratamientos Testigo e Inóculo solo, esto concuerda con lo expresado por Steenhoudt y Vanderleyden (2000) quienes proponen que las PGPR incrementan el número de raíces laterales y de pelos radicales, aumentando la exploración del perfil y por ende una mayor captación de agua y nutrientes; también coincide con lo expresado por Fulchieri et al. (1994) quienes encontraron que la inoculación con bacterias PGPR aumentó el volumen de las raíces en maíz. Los tratamientos Fertilizado con 50 % P y Fertilizado con 100 % P, mostraron valores intermedios.

-PESO SECO DE PLANTAS (gr)

Tratamiento	Medias			
Inóculo solo	18.3	C		
Testigo	26.42	C	B	
50% P	27.6	C	B	
100% P	31.23		B	A
Inóculo + 50% P	41.23			A
DMS:=12.65080				CV 15.49

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

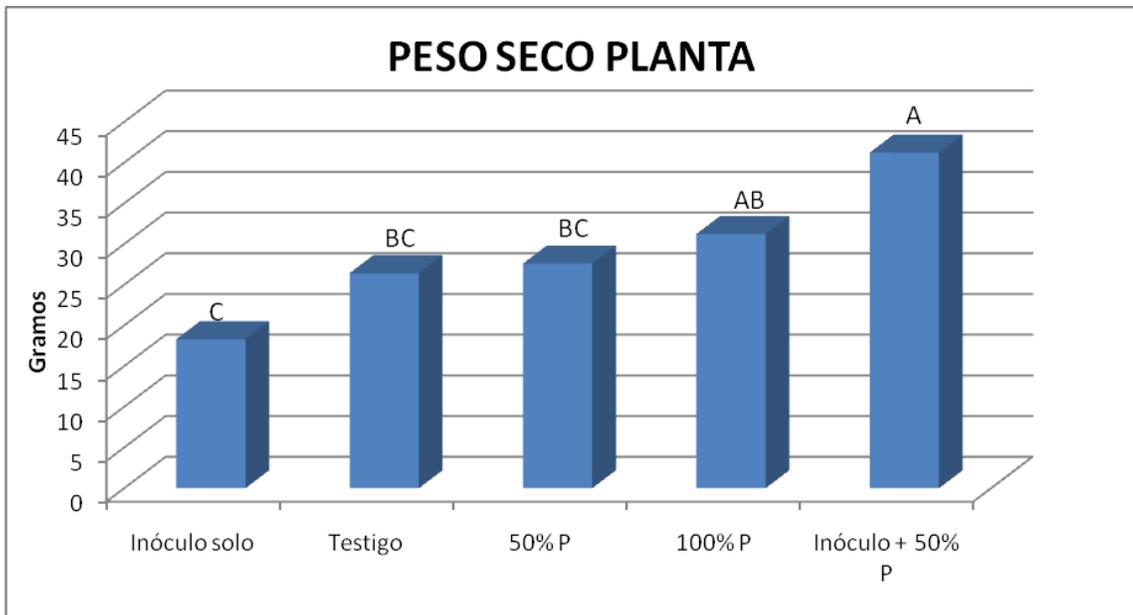


Figura 10: Se observa peso seco de plantas.

En el caso peso seco de plantas se observan dos valores extremos bien marcados con diferencias significativas, el mayor para el tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P y el menor para el tratamiento Inóculo solo, el valor de Fertilizado con 100 % P se encuentra mas cercano al primero y los valores de Fertilizado con 50 % P y Testigo más cercanos al segundo, estos tres tratamientos difieren significativamente de los dos valores extremos. Estos resultados coinciden con lo observado por Tien et al. (1979) quienes observaron que la inoculación con bacterias PGPR tuvo efectos favorables sobre el crecimiento de mijo y también coinciden con Bellone et al. (1999), quienes encontraron una respuesta favorable a la inoculación con bacterias PGPR en maíz en parámetros de la parte aérea.

-PESO SECO RAÍZ (gr)

Tratamiento	Medias
Inóculo solo	12.24 A
Testigo	12.59 A
50% P	12.77 A
100% P	14.4 A
Inóculo + 50% P	17.57 A
DMS:=6.13030	CV 15.62

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

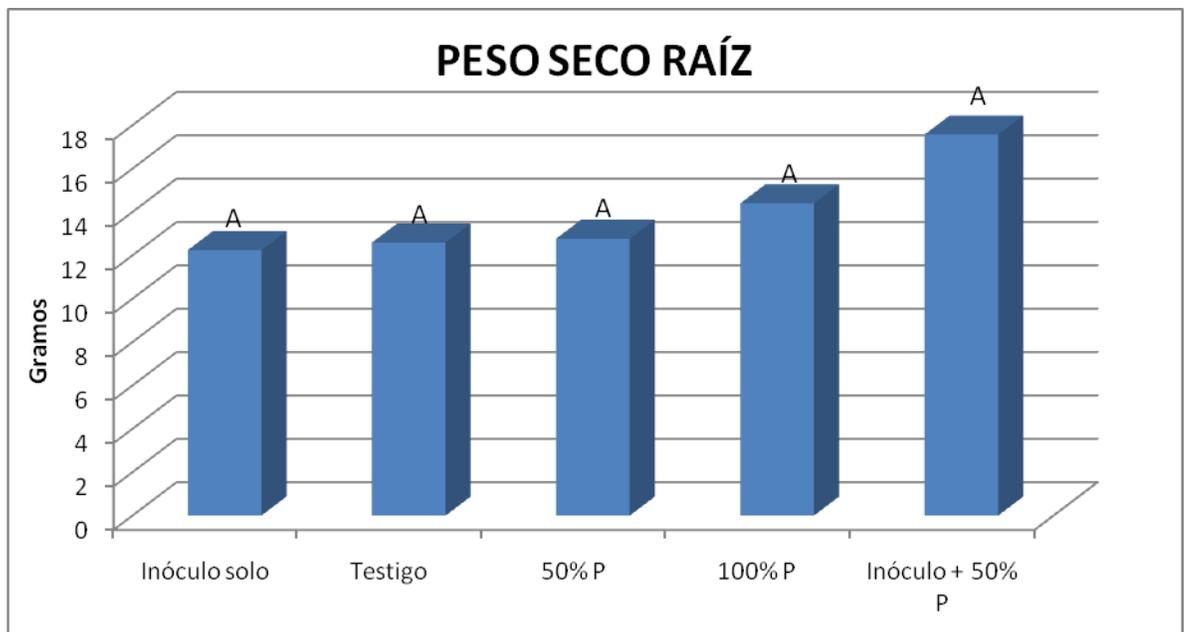


Figura 11: Se observa peso seco de raíz.

Para éste caso se observa el mismo patrón que en los anteriores pero casi no hay diferencias en los tres tratamientos de menor valor, el tratamiento Fertilizado con 100 % P obtiene un valor superior y el tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P sobresale, aunque sin diferencias significativas. Estos resultados no coinciden con lo expresado por Belloné et al. (1999) quienes reportaron un aumento en el peso del sistema radical en un cultivo de maíz inoculado con bacterias PGPR. A pesar de esto se observa una tendencia en el aumento del peso seco de la raíz lo cual sería un tema interesante para realizar nuevos estudios. Al comparar estos resultados con los de la figura 9 (DLR) notamos que no son coherentes ya que aquellos mostraron diferencias significativas y estos no, lo cual puede deberse al hecho de que al medir la

densidad de longitud de raíces los pelos radicales tienen mucho peso en el valor final, en cambio para el peso seco radical influyen más las raíces de mayor tamaño y en menor medida los pelos radicales, esto podría explicar la incongruencia observada.

Resultados y Discusión en Madurez Fisiológica:

-DENSIDAD DE PLANTAS (pl/m²)

Tratamiento	Medias	
50% P	5.33	A
100% P	5.33	A
Testigo	6.33	A
Inóculo solo	6.33	A
Inóculo + 50% P	6.67	A
DMS:=1.70816		CV 10.09

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

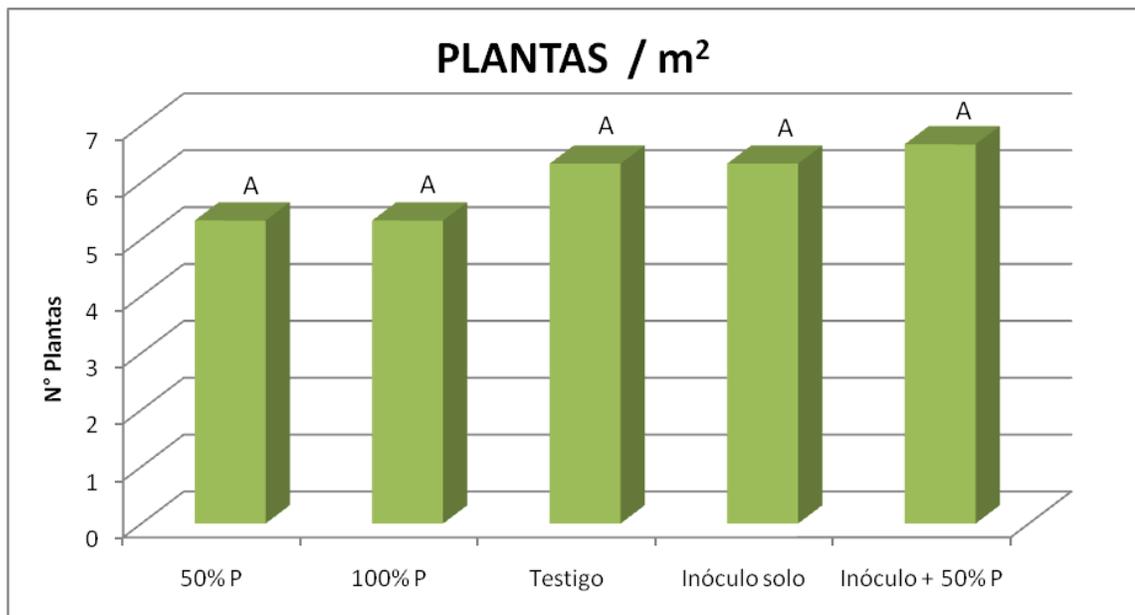


Figura 12: Se observa densidad de plantas en madurez fisiológica.

Los resultados de densidad de plantas en madurez fisiológica, son muy similares a los observados en V5, lo cual refleja un muy buen estado sanitario del cultivo pero a pesar de que el tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P tuvo la mayor densidad de plantas no se observaron diferencias significativas con el resto de los tratamientos, por lo cual no podemos afirmar lo propuesto por Kloepper et al. (1988) y O'Sullivan and O'Gara (1992) quienes dicen que las bacterias pueden proteger a la planta de agentes fitopatógenos haciéndola más competitiva en exploración de suelo y captación de nutrientes. Es importante señalar las diferencias entre los distintos tratamientos ya que este es un componente indirecto del rendimiento del cultivo. El tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P midió la mayor densidad de plantas, 66700 pl/ha, tomando este valor como referencia de 100% y comparandolos con los tratamientos, Inóculo y Testigo densidad de 63300 pl/ha, se observa una disminución del 5%; si lo comparamos con los dos tratamientos fertilizados que midieron una densidad de 53300 pl/ha vemos una disminución del 20 %.

-NÚMERO DE GRANOS POR PLANTA

Tratamiento	Medias	
Inóculo solo	429.9	A
100% P	446.33	A
50% P	449.6	A
Testigo	454.67	A
Inóculo + 50% P	484.73	A
DMS:=187.15040		CV 14.64

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

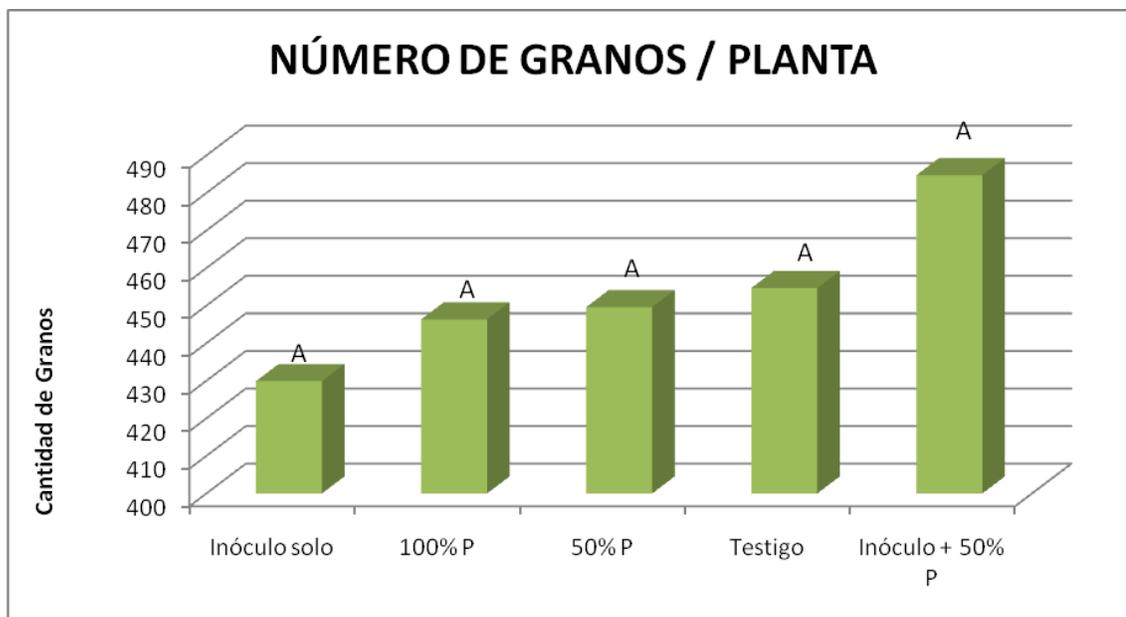


Figura 13: Se observa número de granos por planta.

Se puede observar que el número de granos por planta no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, esto difiere de lo observado por Fulchieri et al. (1994), quienes encontraron que la inoculación en maíz con bacterias PGPR aumentó al doble el número de granos por espiga, el cual también es un componente indirecto en el rendimiento de maíz.

-NÚMERO DE GRANOS POR METRO CUADRADO

Tratamiento	Medias	
Inóculo solo	2290.67	A
Testigo	2417.67	A
50% P	2702.1	A
100% P	2964.33	A
Inóculo + 50% P	3072	A
DMS:=1691.5		CV 22.3

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

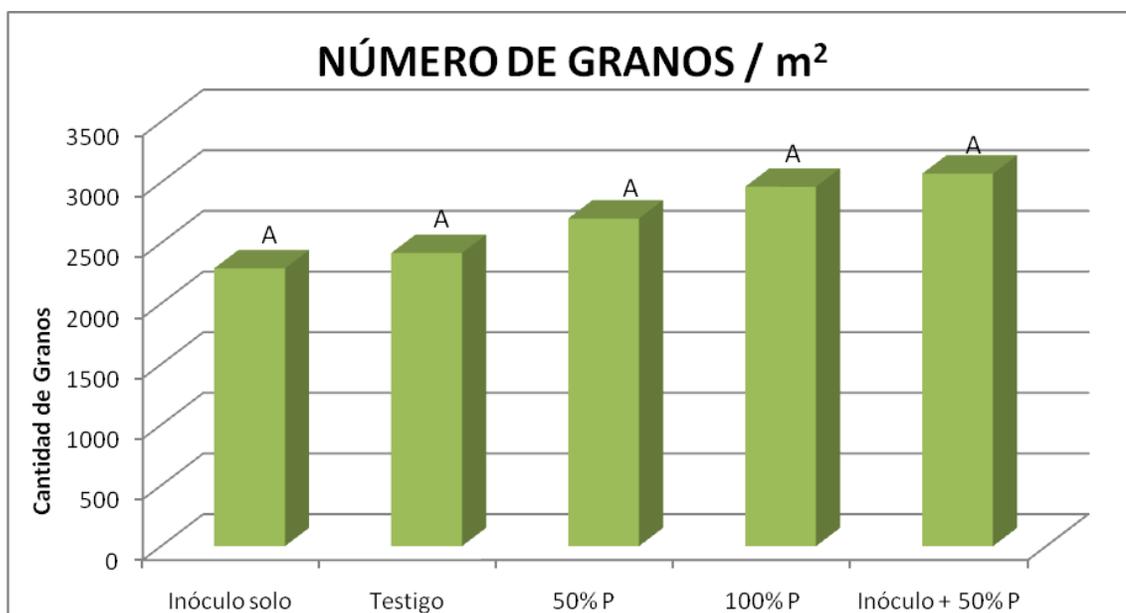


Figura 14: Se observa número de granos por metro cuadrado.

El número de granos por metro cuadrado es un componente directo en el rendimiento del cultivo de maíz, por lo cual es muy importante. En el ensayo no se observaron diferencias significativas, sin embargo los tratamientos Inóculo solo y Testigo midieron una cantidad de granos 25,4% y 21,3% menor que el tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P, lo que no es despreciable. Los tratamientos fertilizados con 100 % P y 50 % P midieron respectivamente una cantidad de granos 3% y 12% menor que el tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P, esto insinúa un aprovechamiento más eficiente tanto del fósforo del suelo como del aplicado como fertilizante a través de *Bacillus spp.*

-PESO DE 1000 SEMILLAS

Tratamiento	Medias	
50% P	378	A
Inóculo solo	385.33	A
100% P	391.33	A
Testigo	397	A
Inóculo + 50% P	425.67	A
DMS:=91.08747		CV 8.16

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

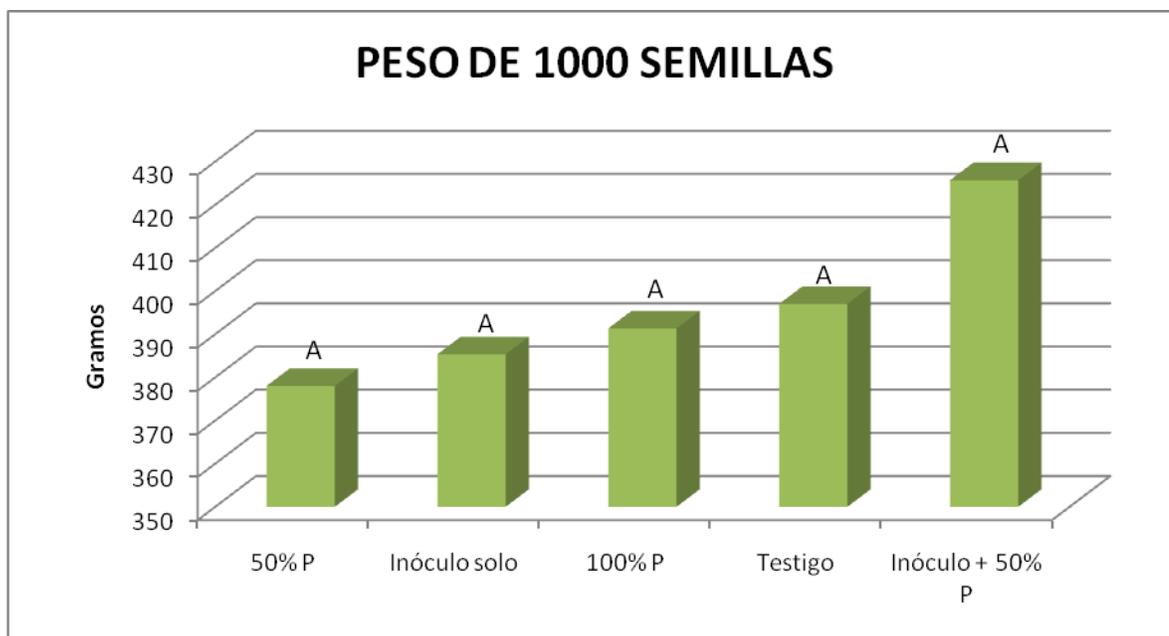


Figura 15: Se observa peso de mil semillas.

El peso de mil semillas está dentro de los componentes directos del rendimiento en el cultivo de maíz, en este caso no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. Si observamos la figura 15 el tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P sobresale del resto. Los cuatro tratamientos restantes no presentan grandes diferencias entre ellos. Estos resultados no coinciden con lo expresado por Fulchieri et al. (1994), quienes encontraron que la inoculación de maíz con rizobacterias promotoras del crecimiento aumentó significativamente el peso de los granos.

-RENDIMIENTO (Kg/Ha)

Tratamiento	Medias	
Inóculo solo	8804.33	B
Testigo	9534	A B
50% P	9970.67	A B
100% P	11541.67	A B
Inóculo + 50% P	13041	A
DMS:=4166.05		CV 13.96

Letras distintas indican diferencia significativa (Tuckey $p \leq 0,05$)

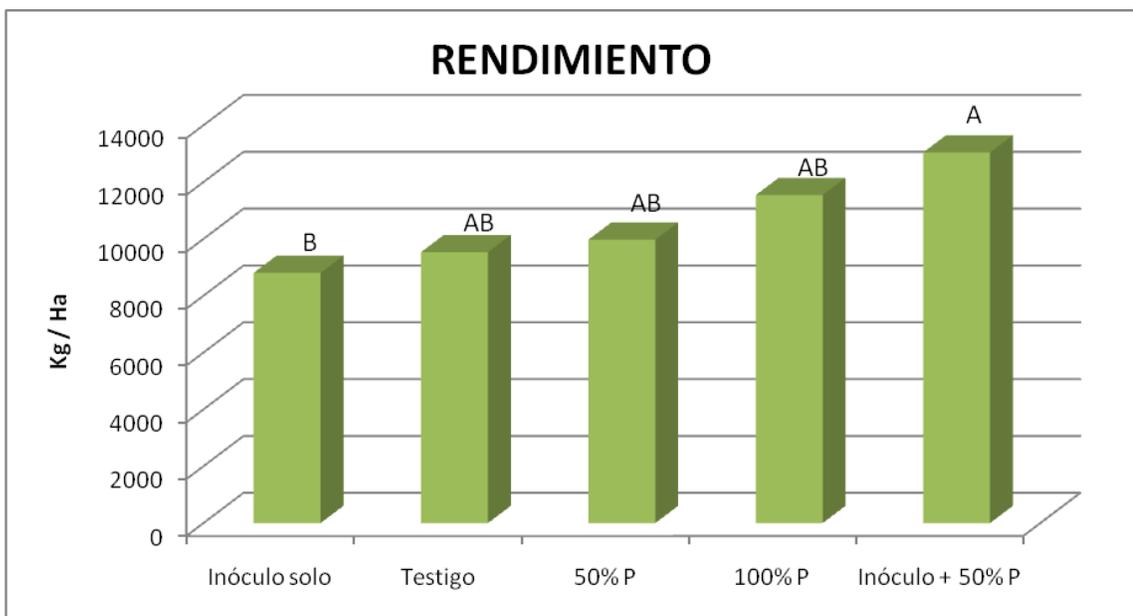


Figura 16: Se observa rendimiento de maíz.

El mayor rendimiento se midió en el tratamiento Inoculado-fertilizado con 50 % P en segundo lugar con un valor 11,5% menor, se ubica el tratamiento Fertilizado con 100 % P, en tercer lugar con un valor 23,5% menor el tratamiento Fertilizado con 50 % P, en cuarto lugar el tratamiento Testigo con un valor 26,9% menor y en quinto lugar el tratamiento Inóculo solo con un valor 32,5% menor. Estos resultados mostraron diferencias significativas coincidiendo con lo propuesto por García et al. (2006), quienes afirman que la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento incrementó el rendimiento en un cultivo de maíz y este incremento fue más estable cuando la inoculación se acompañó con una adecuada fertilización con fósforo y nitrógeno; también coincide con lo demostrado por Verma (1993), Wani y Lee (1992) y Subba

Rao (1982a), quienes reportaron que el uso de microorganismos solubilizadores de fosfato pueden incrementar el rendimiento de varios cultivos, entre ellos maíz, hasta en un 70%.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos se puede concluir:

-Que la deficiencia de fósforo en el suelo donde se realizó el ensayo es limitante, ya que los mejores tratamientos fueron aquellos en los que se agregó fertilizante fosforado y/o solubilizadores de fósforo.

-El tratamiento Inoculado con solubilizador de fósforo y Fertilizado con fósforo dio diferencias significativas en V5, en diámetro del tallo, altura de plantas, densidad de longitud de raíces y peso seco de plantas.

-En cuanto a los parámetros de rendimiento si bien los mayores valores fueron alcanzados por el tratamiento Inoculado con solubilizador de fósforo y Fertilizado no se observaron diferencias significativas en la mayoría de los casos, con la excepción de rendimiento en grano de maíz. Si bien puede observarse una tendencia favorable en los componentes del rendimiento con la aplicación de solubilizadores de fósforo en maíz, podemos concluir que es muy probable que los resultados obtenidos no estén reflejando el verdadero efecto que tiene la biofertilización sobre el cultivo de maíz ya que los coeficientes de variación son muy altos y por ende también lo son las diferencias mínimas significativas, aunque la incógnita queda planteada para ser evaluada en futuros trabajos de investigación.

BIBLIOGRAFÍA:

-BASHAN Y. y H. LEVANONY 1990 Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture **Can. J. Microbiol.** 36: 591- 608.

-BAREA, J.M., R. AZCON y C. AZCON-AGUILAR 1983. Interactions between phosphate solubilising bacteria and VA mycorrhiza to improve plant utilization of rock phosphate in non-acidic soils. En: IMPHOS, ed. **3rd international congress on phosphorus compounds**, pp. 127-144. Brussels.

- BAREA, J.M.; y J. OLIVARES 1998. Manejo de las propiedades biológicas del suelo. **Agricultura Sostenible**. Editorial Mundi Prensa. Madrid, 173-193.

-BELLONE. C.H.; S. CARRIZO DE BELLONES, M.A. JAIME, A.M. MANLLA y M. A. MONZON DE ASCONEGUI 1999. Respuesta de dos cultivares de maíz a la inoculación con distintos aislamientos de *Azospirillum spp.* **II Reunión Científico Técnica de Biología de Suelo**. Universidad Nacional de Catamarca, Facultad de Ciencias Agrarias.

-BOWEN G. D. y A. D. ROVIRA 1999. The rhizosphere and its management to improve plant growth. **Adv. Agron.**, 66: 1-102.

-BRIAT, J.-F. 1992. Iron assimilation and storage in prokaryotes. **J Gen Microbiol** **138**, 2475-2483.

-BROWN M.R. 1974. Seed and root bacterization **Ann. Rev. Phytopath.** 12: 181- 197.

-BRUNDTLAND 1987. Informe socio-económico de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. ONU.

-CALVIÑO P., H. ECHEVERRÍA y M. REDOLATTI. 2000. Estratificación de fósforo en el suelo y diagnóstico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. Actas CD XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

-CHABOT R., ANTOUN H. & CESCAS M. P.1993. Stimulation de la croissance dumais et de la laitue romaine par des microorganismes dissolvant le phosphoreinorganique. **Canadian Journal of Microbiology**, 39: 941-947.

-COOK R. J. 2002. Advances in plant health management in the twentieth century. **Ann. Rev. Phytopathol.**, 38: 95-116.

-CROVETTO, C., 1992: Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

-CTIC, 1996: Conservation Technology Information Centre, **CTIC Partners** , April/ May 1996, Vol. 14 N° 3.

-ELMERICH C. 1984. Molecular Biology and Ecology of diazotrophs associated with non-leguminous plants **Bio Technology** 2: 967- 978.

-FABRIZZI, K. P., F. O. GARCÍA, J. COSTA y L. I. PICONE. 2004. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. Aceptado para su publicación en **Soil & Tillage Research**.

-FERRARIS G.N., y L.A. COURETOT 2006. Inoculación con promotores de crecimiento y uso de diferentes dosis de fertilizante fosforado en maíz en ambientes con baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Área de desarrollo rural INTA EEA Pergamino, proyecto regional agrícola.

-FERRERAS, L. A., J. L. COSTA, y F. O. GARCÍA. 1999. Temperatura y contenido hídrico del suelo en superficie durante el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranzas. **Ciencia del suelo** 17 (2):39-45.

-FERRERAS, L. A., J. L. COSTA, F. O. GARCÍA, y C. PECORARI. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampas" of Argentina. **Soil Till. Res.** 54:31-39.

-FRIONI, L. 1999. Procesos microbianos. Tomo I y II. Edición de la fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba. Pág. 177.

-FROMMEL M.I., J. NOWAK y G. LAZAROVITS 1991. Growth enancement and development modifications of in vitro grown potato (*Solanum tuberosum spp. Tuberosum*) as affected by a nonfluorescent *Pseudomonas sp.* **Plant Physiol.**96: 928-936.

-FULCHIERI M. y L. FRIONI 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. **Soil Biol. Biochem.** 26, 921-923.

-GARCÍA F.O., L.I. PICONE y A. BERARDO 2006. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Bs. As., Argentina. Pág. 99-121.

-GOLDSTEIN, A.H. 1986 Bacterial solubilization of mineral phosphates, historical perspective and future prospects. **Ann J. Altern. Agric.** 1: 51- 57.

-GUTIERREZ BOEM F., J. SHEINER, J. MOYANO y R. LAVADO 2002. Cambios en la disponibilidad de fósforo del suelo por el agregado de fertilizante. **XVIII Congreso argentino de la ciencia del suelo, Puerto Madryn, 16-19/04/2002, 6p.**

-HEREDIA, H. 1998. Principios de Edafología, con énfasis en suelos argentinos. Orientación gráfica editora. Buenos Aires, Argentina. En: **Conti, M (ed.)**. Fósforo. pp 255-272.

-HOMECHIN, M., 1984: Influencia do plantio direto na incidencia de doenças. **Plantio Direto, Ponta Grossa**, 2 (6), p.2.

-IGARASHI, S., 1981: Ocorrencia e controle de doenças. Cultura do trigo: doenças foliares. **IAPAR** (Ed.), 1981

-ILLMER, P. y F. SCINNER 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates - solubilisation mechanisms. **Soil Biol. Biochem.**, 27: 257-263.

-ILLMER, P., A. BARBATO y F. SCINNER 1995. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P solubilising microorganisms. **Soil Biol. Biochem.**, 27: 265-270.

-KARLEN, D.L., N.C. WOLLENHAUPT, D.C. ERBACH, E.C. BERRY, J.B. SWAN, N.S. EASH y J.L. JORDAHL, 1994; Long term tillage effects on soil quality. **Soil & Tillage Research** 32, 313- 327.

-KEMPER, B. y DERPSCH, R., 1981: Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no- tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, 1, 253 - 267.

-KLOEPPER J.W. y M.N. SCHROTH 1978 Plant growth-promoting rhizobacteria and plant growth under gnotobiotic conditions **Phytopathology** 71: 642- 644.

-KLOEPPER J.W., R. LIFSHITZ y M.N. SCHROTH 1988 Pseudomonas inoculants to benefit plant production. En: ISI Atlas of Science: **Animal and Plant Sciences** 60-64.

-KOCHHANN, R. A., 1996: Alterações das Características Físicas, Químicas e Biológicas do Solo sob sistema de Plantio Direto. Resumos, **I Conferencia Anual de Plantio Direto**, p 17- 25, 4 - 6. 9. 1996, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS., Brazil

- KRONEN, M., 1984: Der Einfluß von Bearbeitungsmethoden und Fruchtfolgen auf die Aggregatstabilität eines Oxisols. **Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung**, 25, 172 -

180.

-KUCEY R.M.N., H.H. JANZEN y M.E. LEGGETT 1989. Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. **Adv. Agron.**, 42: 199-228.

-LAL, R., 1976: No- tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria; **Soil. Sci. Soc. Am. J.**; 40, 762- 768.

-LAL, R., 1983: No- till farming, Monograph N° 2, IITA, Ibadan, Nigeria.

-LIPPMAN B., V. LEINHOS y H. BERGMANN 1995. Influence of auxin producing rhizobacteria on root morphology and nutrient acumulation of crops. **Agew. Bot.** 69: 31-36.

-LUCANGELLI C. y R. BOTTINI 1996. Reversion of the warfism in dwarf-1 maize (*Zea mays* L.) and dwarf-x rice (*Oryza sativa* L.) mutants by endophytic *Azospirillum spp.* **Biocell** 20 (3). 221-226-

-LYNCH J.M. y J.M. WHIPPS 1991. Substrate flow in the rhizosphere. **Agric. Res.**, 14: 15-24.

- MARELLI H. 2001. El agua y la siembra directa. En Siembra directa en el Cono Sur. R. Díaz Rosello (ed.). PROCISUR. Montevideo, Uruguay.

-MARSCHNER H. 1993. **Mineral nutrition of higher plants.** Academia Press Ltd., Harcourt Brace & Co. Publishers, London.

-NEILANDS, J. B. y S. A. LEONG. 1986. Siderophores in relation to plant growth and disease. **Annu. Rev. Plant Physiol.** 37: 187-208.

-NOBBE F. y L. HILTNER 1896 **Guía de inoculación nitragin argentina** En: <http://www.nitragin.com.ar/guiainoc.asp>

- OKÓN Y. y C.A. LABANDERA-GONZALEZ 1994 b Agronomic applications of *Azospirillum* : an evaluation of 20 years worldwide field inoculations. **Soil Biology and Biochemistry** 26: 1592- 1601.
- O'SULLIVAN, D. J. y F. O'GARA 1992. Traits of flurescent *Pseudomonas spp.* Involved in suppression of plant pathogens. **Microbiol. Rev.** 56:662-672.
- REIS, E. M.,1985: Doenças em plantio direto: ocorrencia e seu controle. In: III Encontro Nacional de Plantio Direto, Ponta Grossa, Anais, Castro, Fundação ABC, 104-117.
- REIS, E. M., J.M.C. FERNANDES, y E. C. PICININI, 1988: Estrategias para o controle de doenças do trigo. EMBRAPA, CNPT, Passo Fundo, RS. 50 p.
- REIS, E. M. y H. P. SANTOS, , 1987: The multiplication of *Cochliobulus sativus* on above ground tissues of small grains and ist relationship to the origin of soil inoculum density. **Fitopatologia Bras.** Vol. III, 1987.
- RITCHIE S. y J. J. HANWAY, 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Technol. Spec. Rep. 48p.
- ROTH, C. H., 1985: Infiltrabilität von Latossolo- Roxo- Böden in Nordparaná, Brasilien, in feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen und Rotationen. **Göttinger Bodenkundliche Berichte.** 83, 1-104.
- SATORRE E. H. 2002. El cultivo de maíz como oportunidad para la sustentabilidad de la agricultura. Congreso de maíz para productores y técnicos. Bs. As. Pp 8-11.
- SIDIRAS, N. y M.A. PAVAN, 1985: Influencia do sistema de manejo do solo no nivel de fertilidade. **R. bras. Ci. Solo**, 9, 249 - 254.
- SIDIRAS, N. y M.A. PAVAN, 1986: Influencia do sistema de manejo na temperatura

do solo. **R. bras. Ci. Solo**, 10, 181 - 184.

-SINGH, S. y K.K. KAPOOR 1999. Inoculation with phosphate-solubilising microorganisms and a vesiculararbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. **Bio. Fert. Soils**, 28: 139-144.

-SMITH R.S. 1992. Legume inoculants formulation and application. **Can. J. Microbiol.** 38: 485-492.

-STEENHOUDT, O. y J. VANDERLEYDEN. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiol. Rev.** 24: 487-506.

-STEWART, J.W.B. y A.N. SHARPLEY 1987. Controls on dynamics on soil and fertilizer phosphorous and sulfur. **Soil Sci. Soc. Am. Spec.** 101-121.

-SUBBA RAO, N.S. 1982a. Biofertilizers. En: N.S. Subba Rao, ed. **Advances in agricultural microbiology**, pp. 219-242. Oxford and IBH, UK, Mohan Prilani, and New Delhi, Butterworth and Co.

-TIEN, T. M.; M. H. GASKIN, y D. H. HUBBELL, 1979. Plant Growth Substance produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Appl. Environ. Microbiol.** 37: 219-226.

-TIESSEN H y C. SHANG. 1998. Organic matter turnover in tropical land use systems. In L. Bergstrom and H. Kirchmann. Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems. **CAB International.** p. 1-14.

-TISDALE S.L., W. NELSON, J. BEATON y J. HAULIN 1993. Soil fertility and fertilizers. Fifth edition. **Mac Millan Pub. Co.** New York (EUA).

-TORO, M., R. AZCON, y J.M. BAREA 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilising rhizobacteria to improve

rock phosphate bioavailability (^{32}P) and nutrient cycling. **App. Env. Microbiol.**, 63: 4408-4412.

-TRASAR, M.C., M.C. LEIRÓS, F. GIL 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic Oakwood), in an area of the European temperate-humid zone (Galicia NW Spain): Specific parameters. **Soil Biology & Biochemistry** 32: 747-755.

-VAN LOON LC. 1997. Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. **Eur. J. Plant Pathol.** 103:753-65

-VAN PEER R. y B. SCHIPPERS 1989 Plant growth responses to bacterization with selected *Pseudomonas spp.* Strains and rhizosphere microbial development in hydroponic culture **Can. J. Microbiol.** 35: 456- 463.

-VERMA, L.N. 1993. Biofertiliser in agriculture. En: P.K. Thampan, ed. **Organics in soil health and crop production**, pp. 152-183. Cochin, India, Peekay Tree Crops Development Foundation.

-WANI, S.P. y K.K. LEE 1992. Role of biofertilisers in upland crop production. En: H.L.S. Tandon, ed. **Fertilisers, organic manures, recyclable wastes and biofertilisers**, pp. 91-112. New Delhi, Fertiliser Development and Consultation Organization.

-YOUNG, C. 1990. Effect of phosphorus-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of tree species in sub-tropical-tropical soils. **Soil Sci. Plant Nut.**, 36: 225-231.

-ZAMUNER E., L.I. PICONE y H.E. ECHEVERRÍA. 2004a. Formas de fósforo en un suelo bajo labranza convencional y siembra directa. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. AACs.

