

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final presentado para optar al Grado
de Ingeniero Agrónomo”

Evaluación a Campo de la Producción de un Cultivo de Maíz
Inoculado con PGPR y Fertilizado

Alumno: Currellich, Lucas Martín
D.N.I: 28.579.656

Directora: Dra. Thuar, Alicia

Río Cuarto-Córdoba

Diciembre-2006

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final:

Evaluación a Campo de la Producción de un Cultivo de
Maíz Inoculado con PGPR y Fertilizado

Autor: Currellich, Lucas Martín
DNI: 28.579.656

Director: Dra. Thuar, Alicia

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del
Jurado Evaluador:**

Moreno, Inés S._____

Bongiovanni, Marcos_____

Becerra, Víctor H._____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, hermanos y familiares por la ayuda brindada durante la carrera y mi formación como profesional. A mis amigos y compañeros por haber estado siempre; y en especial a mi hijo Joaquín la razón de mí esfuerzo, y a Natalia por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por todo el apoyo brindado y no dejar que nunca baje los brazos.

A mi esposa e hijo por todo el tiempo que no le he dedicado.

A mi amigo, compañero y colega Diego, por toda la ayuda brindada durante toda mi carrera.

A mi directora Dra. Alicia Thuar por su dedicación, colaboración y paciencia en la realización de este trabajo.

A Ivana por su ayuda y colaboración para la finalización de la misma.

A la Dra. Carmen Olmedo, al Dr Javier Andrés y Jorge Vázquez por su cooperación y optimismo.

A el Ing. Agr. Piagno Gerardo y a la empresa Rizobacter S.A por haberme brindado la posibilidad de realizar este trabajo.

A mis amigos y compañeros por los consejos y optimismos brindados.

A todos GRACIAS!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

RESUMEN

La inoculación con PGPRs representa una alternativa adecuada como nueva tecnología tendiente a mejorar la productividad a largo plazo del sistema agropecuario, particularmente puede considerarse como una tecnología alineada con principios de agricultura sustentable, frente al uso incrementado de fertilizantes y pesticidas, logrando de esta manera sistemas de producción que sean durables en el tiempo.

El objetivo de este trabajo fue estudiar y evaluar el efecto benéfico de la inoculación de maíz con PGPR, en este caso con *Pseudomonas fluorescens*, a campo bajo distintas dosis de fertilizantes. Durante el transcurso del ciclo del cultivo se determinaron parámetros de crecimiento como longitud de raíces, peso seco de la parte aérea y peso seco radical en el estadio de seis hojas como, así también número de plantas por hectárea. En cosecha se evaluó número de plantas por hectárea, espigas por planta, peso de los granos por espiga, peso de los mil granos y rendimiento.

La densidad de plantas por hectárea en v6 no mostró cambios importantes entre los distintos tratamientos, pero el peso seco radical, la longitud de raíces y el peso seco aéreo si mostró una diferencia significativa entre los tratamientos. Al momento de la cosecha vario el número de plantas por hectárea, el número de espigas por planta, el peso de los granos por espiga y el peso de los mil granos, manifestándose esto en mayores rendimientos en aquellos tratamientos inoculados. La inoculación con *Pseudomonas fluorescens* y la fertilización muestran un efecto positivo estadísticamente significativo sobre los rendimientos en el cultivo de maíz realizado a campo.

Palabras claves: inoculación, *Pseudomonas fluorescens*, crecimiento, maíz.

SUMMARY

Inoculation with PGPRs represents a suitable alternative as a new technological trend towards the improvement of the productivity in the farming system in a long term way. In opposition to the actual increasing use of fertilizers and pesticides, this technology is under the principles of sustainable agriculture which achieves productive and sustained systems.

The objective of this work was to study and evaluate the beneficial effect of the maize inoculation with PGPR. The inoculation was made with *Pseudomonas fluorescens* in field under different fertilizer doses. During the cycle of the crop, growth determinations were measured, such as the length of roots, dry weight of aerial biomass and radical dry weight in the stage of six leaves (V6), as well as the number of plants per hectare. In harvest and post-harvest moments, the number of plants per hectare, spikes per plant, number of grain per spike, weight of thousand grains and yield were evaluated, which are the direct components of yield.

The density of plants per hectare did not show important changes between the different treatments, but the radial dry weight, the length of roots and the aerial dry weight did show significant differences between the treatments. At the harvest moment, the number of plants per hectare did not show any differences, but the number of spikes per plant, the number of grains per spike and the weight of the thousand of grains show important differences, which is related to the higher yields in the inoculated treatments. The inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and the fertilization show a statistically significant positive effect in the yield of maize in field.

Key words: inoculation, *Pseudomonas fluorescens*, growth, maize.

INDICE DEL TEXTO

Nº de pág.

CERTIFICADO DE APROBACIÓN.....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN.....	IV
SUMMARY.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.....	5
Mecanismos de promoción del crecimiento vegetal.....	5
Mecanismos de promoción directa.....	5
Mecanismos indirectos de promoción vegetal.....	6
Importancia del cultivo de maíz.....	8
Características del cultivo de maíz.....	9
Componentes más importantes del rendimiento del maíz.....	11
HIPÓTESIS.....	12
OBJETIVOS.....	12
MATERIALES Y METODOS.....	13
MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO.....	14
Determinaciones en seis hoja (V6).....	17
Medición de la densidad en plantas/ha.....	17
Medición de la longitud total de las raíces.....	17
Determinación del peso seco aéreo y de la raíz.....	17
Determinación al momento de la cosecha.....	18
Medición de la densidad en plantas/ha.....	18
Espigas por planta.....	18

Peso de los granos por espiga.....	18
Peso de los mil granos.....	18

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
Resultados y discusión en el estadio V6.....	19
Resultados y discusión al momento de la cosecha.....	22
CONCLUSIÓN.....	27
BIBLIGRAFÍA.....	28
ANEXO.....	33

INDICE DE FIGURAS **Nº de pág.**

Figura 1.....	13
Figura 2.....	19
Figura 3.....	20
Figura 4.....	21
Figura 5.....	21
Figura 6.....	22
Figura 7.....	23
Figura 8.....	24
Figura 9.....	24
Figura 10.....	26

INTRODUCCIÓN

La producción argentina de granos se duplicó en la última década cuando cosechas record se sucedieron años tras años, como resultado de la aplicación de numerosas y modernas técnicas tales como genética de avanzada, fertilizantes, agroquímicos, técnicas para el control de plagas, enfermedades y malezas, y siembra directa (Álvarez y Mullin, 2004).

Es indudable que los suelos de la pampa húmeda se han degradado tanto en su fertilidad física como química. Estos procesos, iniciados a principios del siglo pasado, se han originado por dos causas principales. La primera de ellas surgió como consecuencia del notable aumento de la agricultura y su productividad, principalmente debido a la elevada demanda de productos provenientes de esta actividad, generando así un aumento de la intervención del hombre sobre los recursos naturales, agua y suelo fundamentalmente. Esto fue consecuencia de la utilización de implementos agrícolas de remoción, arados, discos, entre otros, que agredieron los principios de cohesión de las partículas de suelo y aceleraron los procesos de erosión. La segunda causa también tiene su origen, al menos en parte, en el mismo proceso, donde la remoción del suelo causó una aceleración de la oxidación de la materia orgánica y la consecuente pérdida de nitrógeno. Esto se agravó debido a la agriculturización, proceso de agricultura continua con rendimientos e índices de extracción de nutrientes crecientes casi lineales, que no fue acompañada con la debida reposición de los mismos por medio de fertilizantes. Estas dos causas en conjunto definen la situación actual (INTA, 2004).

Las áreas más productivas han sido sometidas a mayor diversidad y presiones de uso y rigurosas prácticas de manejo, como la fertilización con sales químicas. Por otra parte, aquellas áreas no utilizadas anteriormente por su marginalidad, hoy son transformadas y ocupadas para su aprovechamiento (Cantero y Cholaky 1997)¹. Como consecuencia del uso y manejo irracional de estas áreas, se ha llegado a una degradación parcial y en ciertos casos total, con las implicancias que esto genera.

Una de las consecuencias del uso y manejo irracional del suelo es la pérdida de nutrientes que pueden ser lixiviados, insolubilizados o extraídos y

¹ CANTERO A. y CHOLAKY C. 1997. Evaluación de tierras. Apunte de Uso y Manejo de Suelos. Material inédito. UN de Río Cuarto, Argentina.

que no son reciclados en el ambiente, haciendo al sistema dependiente de la aplicación externa de estos. La fertilización y las recomendaciones se basaron en el diagnóstico de la dosis a aplicar y sólo en aquellos cultivos que demostraron una respuesta económica positiva.

Con el fin de afrontar soluciones a estos enunciados se han implementado diferentes proyectos que proponen la utilización de microorganismos que, directa o indirectamente, solubilizan distintos nutrientes del suelo, entre ellos el fósforo.

La biotecnología ha abierto nuevas posibilidades en lo concerniente a la aplicación de microorganismos benéficos del suelo así como en la promoción del crecimiento de las plantas y el control biológico de patógenos.

En años recientes, se ha retomado el interés de utilizar bacterias promotoras del crecimiento en la producción de cultivos (Chanway *et al.*, 1989) teniendo como finalidad aumentar el rendimiento de los cultivos, disminuir el uso desmedido de fertilizantes minerales y productos químicos y, consecuentemente, reducir la contaminación de los recursos naturales. La utilización de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) en la agricultura es una práctica que internacionalmente ha tomado auge en las últimas décadas (Hernández, 1998). Las bacterias que proporcionan algún beneficio a la planta 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 Per y Schippers, 1989; Frommel *et al.*, 1991). Dentro de las bacterias que actúan como PGPR, que son de vida libre, pueden considerarse diferentes microorganismos, incluyendo especies de *Azotobacter*; *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Acetobacter*; *Burkholderia*, y *Bacillus* (Brown, 1974; Elmerich, 1984; Kloepper *et al.*, 1989; Bashan Levanony, 1990; Tang, 1994; Okon y Labandera-Gonzales, 1994).

La interacción entre las raíces y los microorganismos de la rizósfera se basa principalmente en la modificación interactiva del ambiente del suelo por procesos como: captación de agua por la planta, liberación de compuestos orgánicos al suelo por las raíces, producción microbiana de factores de crecimiento vegetal y captura de nutrientes minerales por parte de los microorganismos. En la rizósfera, las raíces tienen una influencia directa en la composición y en la densidad de la microbiota del suelo; esto es

lo que se conoce como efecto rizosférico (Rovira y Campbell 1974; Woldendorp 1978; Campbell 1985).

Las poblaciones microbianas de la rizósfera benefician a las plantas ya que aumentan el reciclado y la solubilización de los nutrientes minerales, sintetizan vitaminas, aminoácidos, auxinas, citocininas y giberelinas, que estimulan el crecimiento y muestran antagonismo hacia patógenos potenciales de la planta mediante la competencia y el desarrollo de las relaciones amensales basadas en la producción de antibióticos (Nieto y Frankenberger, 1989).

Una amplia revisión sobre los resultados de los experimentos desarrollados entre los años 1974-1994 fue realizada por Okon y Labandera-Gonzales, (1994). Esta evaluación reveló que la inoculación arrojó resultados positivos en el 60-70% de las experiencias realizadas en suelos y regiones climáticas diferentes, con incrementos del rendimiento significativos, en el orden de 5-30%. Sin embargo, cuando se evaluó el efecto de la inoculación en conjunto con la aplicación de niveles intermedios de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, el éxito de los experimentos se incrementaron hasta un 90% (Okon y Labandera-Gonzalez, 1994).

Se considera que incrementos moderados en el rendimiento (hasta alrededor de un 20%) son comercialmente valiosos en la agricultura moderna si se obtienen consistentemente (Bashan y Levanony, 1990).

La inoculación con PGPR lleva a un aumento significativo del sistema radical, induce la resistencia a agentes patógenos y provee de elementos como el nitrógeno. Además inhibe la proliferación de plantas parásitas y produce hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, lo que permite un desarrollo más económico y saludable de los cultivos (Bouillant, 1997).

En México durante el año 1999, se inocularon alrededor de 450.000 hectáreas de maíz (*Zea mays* L.) y 150.000 hectáreas de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) con *Azospirillum brasilense*, demostrándose incrementos de aproximadamente 26% en los rendimientos cuando se implantaron en suelos pobres y con un bajo aporte de nitrógeno. El programa "**Biofertilización**" ha seguido durante el año 2000, inoculándose alrededor de un millón y medio de hectáreas (Caballero Mellado, 2002).

El fósforo, después del nitrógeno, es el nutriente inorgánico más requerido por plantas y microorganismos y, además, en el suelo es un factor

limitante del desarrollo vegetal, a pesar de ser abundante tanto en formas inorgánicas como orgánicas (Alexander, 1980). Las plantas deben absorberlo de la solución del suelo, donde se encuentra en muy baja concentración. Estos bajos índices del nutriente se deben a que el fósforo soluble reacciona con iones como el calcio, el hierro o el aluminio que provocan su precipitación o fijación, disminuyendo su disponibilidad para los vegetales (Rodríguez y Fraga 1999). Los fosfatos inorgánicos aplicados como fertilizantes químicos también son inmovilizados en el suelo y, como consecuencia, no son solubles para ser aprovechados por los cultivos (Peix *et al.* 2001).

Debido a la poca movilidad del fósforo en el suelo y a su baja concentración en la solución del suelo, los fertilizantes con fósforo son aplicados en suelos agrícolas. La disponibilidad de fósforo en el suelo depende principalmente de la actividad microbiana. Los estudios que pretendían demostrar que se podía mejorar la disponibilidad de fósforo fueron realizadas con *Bacillus megaterium* y *Pseudomonas fluorescens*, mostrando que estas bacterias pueden incrementar la disponibilidad del fósforo para las plantas porque ellas solubilizan fosfatos orgánicos por la acción de las fosfatasas (mineralización) o por la solubilización de fosfatos inorgánicos no disponibles con ácidos orgánicos (Gerretsen 1948, Katznelson y Bose 1959). Kloepper *et al.* (1993) propusieron que se produce un mejor desarrollo del sistema radical de la planta y mejora la sanidad. Otros investigadores sugieren que mejora la absorción del mineral (Bashan *et al.*, 1990). Se ha encontrado que *Pseudomonas fluorescens* son útiles como PGPRs porque poseen un metabolismo versátil y pueden usar diferentes sustratos liberados por las raíces, con tiempos de generación cortos, movilidad y capacidad para colonizar raíces, producen variedad de metabolitos secundarios, incluidos reguladores de crecimiento, antibióticos y sideróforos (Lemanceau *et al.*, 1991).

Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

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 (o rizobacterias) que beneficiaban el crecimiento vegetal cuando se inoculan sus semillas.

Mecanismos de promoción del crecimiento vegetal

Las bacterias PGPR pueden directa o indirectamente inducir la promoción del crecimiento. Las influencias directas incluyen producción de fitohormonas, liberación de fosfatos y micronutrientes, fijación de nitrógeno y producción de sideróforos. El efecto indirecto que causan las PGPR es la alteración de la ecología y el ambiente de la raíz (Bowen y Rovira, 1991; Glick, 1995; Hornby, 1990; Kapulnik, 1991; Lynch, 1990a, 1990b, 1990c; Okon y Hadar, 1987) por ejemplo, actuando como agentes de biocontrol y reduciendo las enfermedades mediante la liberación de sustancias antibióticas que eliminan microorganismos nocivos, por competencia con agentes deletéreos y metabolismo de productos tóxicos.

Mecanismo de promoción directa del crecimiento

- Producción de fitohormonas:

Las PGPRs 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 pelos radicales, aumentando notablemente la superficie de la raíz y, en consecuencia, favoreciendo una mayor absorción de nutrientes (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000).

La atención principal ha sido enfocada en las auxinas (Brown, 1974; Tien *et al.*, 1979). Dentro de estas, la más común y mejor caracterizada ha sido el ácido 3-indol acético (AIA), el cual se ha observado que estimula la respuesta vegetal, tanto en velocidad (por ejemplo, incrementando la elongación celular), como en tiempo (por ejemplo, la división celular y la diferenciación) (Cleland, 1990; Hagen, 1990).

La inoculación de plantas de trigo con la mutante de *A. brasilense* nif-AIA+ incrementa el número de raíces laterales comparado con la cepa salvaje, que no produce AIA (Barbieri *et al.*, 1986).

La síntesis de auxinas y giberelinas por microorganismos incrementa la tasa de germinación de las semillas y el desarrollo de pelos radicales, siendo esta la principal característica de *Azospirillum* (Brown, 1974).

- Solubilización de Fosfatos:

El fósforo es un elemento químico esencial para la vida y muy abundante en la corteza terrestre, sin embargo una pequeña proporción está disponible para las plantas (5 %), por lo que debe ser suministrado por medio de fertilizantes minerales, pero gran parte de éste tiende a acumularse en el suelo en forma de compuestos insolubles (Richardson, 1994). El aprovechamiento de dicho nutriente depende de la actividad microbiana, entre otros; y, frecuentemente, la inoculación de plantas con microorganismos solubilizadores de fósforo estimula el crecimiento vegetal, por incremento en la absorción del mismo (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 previamente fijado por las bacterias (Frioni, 1999).

La fijación de nitrógeno no simbiótica es realizada por microorganismos como *Azospirillum*; estos son bacterias de vida libre que fijan nitrógeno bajo ciertas condiciones ambientales y de suelo, en asociación con las raíces (Frioni, 1999) y que influyen positivamente en el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Mecanismos indirectos de promoción del crecimiento - Supresión de agentes fitopatógenos.

- Producción de sideróforos:

Dado que la cantidad de hierro del suelo que es aprovechable es demasiado baja para mantener el crecimiento microbiano, los

microorganismos del suelo excretan moléculas quelantes (sideróforos) que se unen al Fe^{+3} , transportándolo al interior de la célula microbiana y luego lo hacen aprovechable para el crecimiento de la bacteria (Neilands y Leong, 1986; Briat, 1992). Una vía por la cual las PGPRs pueden evitar la proliferación de fitopatógenos y, por lo tanto, facilitar el crecimiento vegetal, es a través de la producción y secreción de sideróforos con una alta afinidad por el hierro (Castignetti y Smarelli, 1986).

- 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 medición de diferentes cepas bacterianas en la resistencia sistémica inducida (SIR) ha sido demostrada contra hongos, bacterias y virus en diversos cultivos (Van Loon *et al.*, 1998).

Determinadas bacterias inducen la resistencia sistémica, produciendo diferentes compuestos tales como los lipopolisacáridos, sideróforos y ácido salicílico; sin embargo, esta inducción depende de que las bacterias colonicen el sistema radical en número suficiente (Van Loon *et al.*, 1998).

- Producción de Antibióticos:

Uno de los mecanismos más efectivos que puede emplear una PGPR para prevenir la proliferación de fitopatógenos es la síntesis de antibióticos, un gran número de compuestos antibióticos producidos por *Pseudomonas fluorescens* han sido caracterizados químicamente.

- Producción de Cianida de Hidrógeno:

La propiedad de algunas *Pseudomonas* de sintetizar este compuesto (al cual ellas mismas son resistentes), puede estar vinculada a la capacidad de estas cepas para inhibir algunos hongos patógenos (Voisard *et al.*, 1989).

Importancia del cultivo de Maíz

Desde comienzos de los años 90, Argentina pasó a ocupar un lugar relevante en la producción y comercialización de granos, destacándose en los logros alcanzados el cultivo de maíz, por ser el que ostenta para el pasado decenio los mayores incrementos porcentuales tanto en los volúmenes cosechados como en la productividad física media por hectárea.

La producción Argentina de maíz, que a comienzos de la década citada (campana 1990/91) totalizaba 7,7 millones de toneladas, mostró un constante crecimiento llegando a recolectarse en el ciclo agrícola 1997/98 19,4 millones de toneladas, es decir un volumen 152,9% superior al de siete años atrás. En materia de rendimientos y para el mismo período, la mayor variación porcentual en las producciones medias por hectárea le corresponde al maíz con un 41,2% de aumento.

Acompañando la tendencia señalada, se verificó un importante incremento en los volúmenes de materia prima procesada por los diferentes tipos de molienda, destacándose en este aspecto el protagonismo alcanzado por el sector elaborador de alimentos balanceados. Paralelamente, se diversificaron las posibilidades de utilización del grano. Así fueron surgiendo nuevos destinos tales como el termoprocesado, silaje de grano húmedo, producción de maíz pisingallo a escala comercial, maíces orgánicos y en los últimos años la irrupción de maíces de alto valor (MAV).

Varias son las causas del crecimiento operado en la producción nacional. Entre las principales podemos citar: el aumento de la superficie dedicada a su cultivo, la disponibilidad en el mercado de nuevos híbridos de mayor potencial de rendimiento y mejor resistencia a enfermedades y plagas, el aumento en el área fertilizada, la creciente utilización del sistema de siembra directa, la incorporación de la práctica de riego complementario, el recambio del parque de cosechadoras con la incorporación de máquinas recolectoras de última generación y, a partir del ciclo agrícola 1998/99, el uso de materiales vegetales transgénicos.

Su cultivo requiere del uso de tecnología intensiva por lo que su costo de implantación resulta elevado (materiales híbridos de alto potencial de rendimiento, alta dosis de fertilizantes y de agroquímicos, etc.), razón por la cuál ante el actual esquema de retenciones, se ve en desventaja frente a otros cultivos como es el caso de la soja. Si a esto se le adiciona que para

compensar costos, los productores deben obtener elevadas productividades físicas por hectárea, poco probables de alcanzar ante la incertidumbre que genera el factor climático, resulta comprensible el incremento que se viene dando en las últimas campañas en la superficie implantada con esta oleaginosa en detrimento de la superficie de maíz.

En el contexto internacional, si bien es cierto que en la década del noventa nuestro país llegó a ocupar el quinto lugar como productor mundial y el segundo lugar como exportador de este grano forrajero (a continuación de los Estados Unidos), por las razones señaladas precedentemente ha cedido posiciones, ubicándose en la actualidad en el sexto lugar como país productor y en tercer puesto en el ranking de países exportadores.

El maíz es, sin lugar a dudas, el grano forrajero por excelencia, presentando además como una de sus principales características las múltiples posibilidades de utilización en diversos procesos industriales, de los que se obtiene una amplia gama de productos derivados de su procesamiento y, si bien es cierto que está sufriendo los embates de la expansión del cultivo de la soja, no se ha puesto en riesgo su supervivencia (SAGPyA 2006).

El maíz es un cultivo de gran potencialidad. Así lo demuestran más de 600 subproductos, que abarcan desde alimentos hasta plásticos, papeles y biocombustibles (Álvarez y Mulin, 2004).

Características del cultivo de Maíz

El maíz es uno de los principales cereales, junto al arroz y al trigo, y se emplea en alimentación humana y animal. Originario de América, comenzó a cultivarse entre los mayas y los aztecas. Actualmente tiene difusión mundial, en especial en zonas templadas.

El maíz, perteneciente a la familia de las gramíneas, es una planta anual, de hábito de crecimiento primavero-estival, produce altos rendimientos en comparación con el trigo, la soja y el girasol.

Desde la siembra del grano hasta la cosecha, la planta atraviesa los siguientes estadios, en los cuales se utilizan caracteres externos (macroscópicos) para su identificación:

Estados vegetativos:

* Siembra: Con condiciones adecuadas, la semilla absorbe agua y comienza a crecer, se elonga la radícula, luego el coleóptilo y crecen las primeras raíces seminales. La actividad de la semilla comienza con una

temperatura igual o superior a 10°C, a 5-7 cm. de profundidad, durante tres días seguidos.

* VE (Emergencia): Con humedad y alta temperatura, la plántula emerge 4-5 días después de la siembra. Si las condiciones climáticas no son las adecuadas la emergencia puede verse retardada.

* V1 (Una hoja expandida): Comienza a crecer y a desarrollarse el sistema de raíces nodales o aéreas, responsables del abastecimiento de agua y nitrógeno a partir de V6.

* V6 (Crecimiento del tallo): La caña comienza su período de mayor elongación. Puede realizarse la fertilización nitrogenada hasta el estadio de ocho hojas (V8) de manera que los nutrientes estén disponibles para el cultivo en el período crítico.

* V9 (Nace la panoja): Aunque no visible, la panoja comienza su desarrollo en este momento (y finaliza en R1, es fundamental en la reproducción del maíz), y el tallo continúa su elongación debido al alargamiento del quinto nudo en adelante.

* V12 (Formación de espigas): La espiga comienza a formarse unos 10 días después que la panoja, en este período se preparan las funciones reproductoras, el número de hileras de granos ya se ha establecido y se define la cantidad de granos potenciales (los cuales quedan definidos una semana previa a la polinización) en cada una de ellas. Generalmente se pierden las dos hojas basales.

* VT (Aparición de la panoja): Comienza cuando la última rama de la panoja está enteramente visible y generalmente unos dos o tres días antes de que los estigmas puedan estar visibles. Durante este período la planta alcanza su altura máxima, aproximadamente 2-2,5 mts.

Estados reproductivos:

* R1 (Aparición de estigmas): Comienza cuando algunos de los estigmas se encuentran fuera de las chalas. La polinización sucede cuando algunos granos de polen son interceptados por los estigmas.

El polen crece hasta alcanzar el óvulo y producirse la fecundación; las anteras liberan polen (el rocío de la noche y la primera luz del día facilitan la liberación de polen) durante ocho días aproximadamente, coincidiendo con la aparición de los estilos femeninos.

* R6 (Madurez): Se alcanza cuando todos los granos de la espiga han alcanzado su máximo peso seco (alrededor de dos meses después de la

fecundación). Los granos están completamente llenos con un 30 a 35% de humedad y comienza el período de secado, hasta alcanzar entre el 13 y 15% de humedad en la cosecha. Hasta este momento, la capa dura de almidón ha avanzado hacia el marlo. La chala y la mayoría de las hojas en este estadio ya están secas (Álvarez y Mulin, 2004).

Componentes más importantes en la determinación del rendimiento

Al igual que en otros cultivos de grano, el rendimiento en maíz puede ser estudiado a través de sus componentes numéricos: el número de granos por unidad de superficie y su peso individual. A su vez, el número de granos es producto del número de plantas por unidad de superficie, del número de espigas granadas por planta (prolificidad) y el número de granos por espiga (Cárcova, 2004).

HIPÓTESIS:

La inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y la fertilización a campo en un cultivo de maíz favorecerían los parámetros de crecimiento (peso seco de la biomasa aérea y subterránea, y longitud total de la raíz). Esto implicaría una mayor fuente de fotoasimilados que se reflejaría en el incremento en los componentes del rendimiento (densidad de plantas por hectáreas, número de espigas por planta, peso de los granos por espiga y peso de los mil granos).

OBJETIVOS:

Objetivo general:

- Evaluar un cultivo de maíz ante la inoculación con PGPR y fertilizado a dosis completa y media dosis de fosfato de amonio.

Objetivos específicos:

- Evaluar densidad de plantas y biomasa aérea y radicular en el estadio fenológico de seis hojas (V6).

- Evaluar en madurez fisiológica: número de plantas cosechadas, número de espigas por planta, peso de los granos por espiga, peso de los mil granos y rendimiento (en qq/ha).

- Determinar el efecto de la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal sobre la producción del cultivo de maíz a campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un campo ubicado al oeste de la localidad de Carnerillo, a 40 Km. al noreste de la ciudad de Río Cuarto (por la ruta nacional número 158), provincia de Córdoba, Argentina. El perfil corresponde a un Hapludol típico.

El régimen de precipitaciones es monzónico irregular; aproximadamente el 80 % de las precipitaciones se concentran en el semestre más cálido (Octubre a Marzo). El valor medio anual de las mismas es de 800 mm.

En la figura 1 se presentan las precipitaciones ocurridas en el período correspondiente a Octubre 2005 a Marzo 2006².

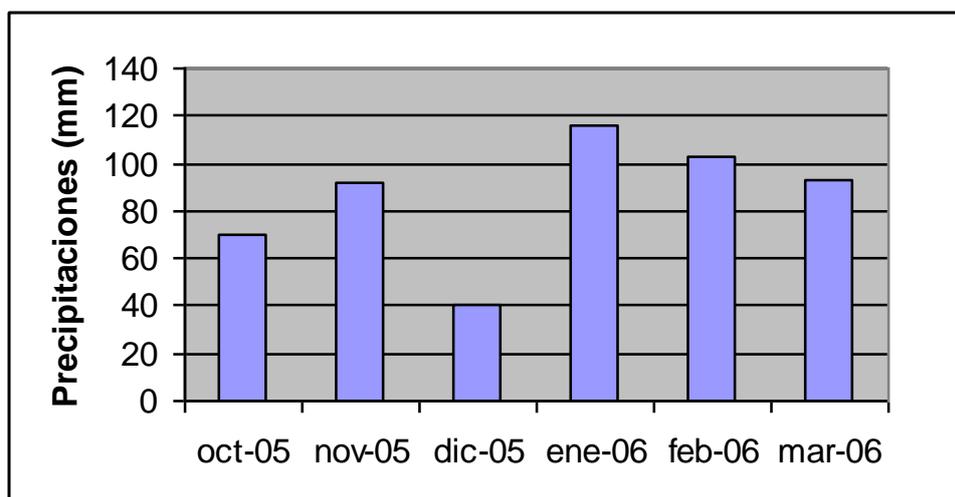


Fig. 1: Precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, datos mensuales.

Previo a la siembra se realizó una caracterización inicial del suelo a través de un análisis físico-químico del mismo. Para ello se tomó una muestra compuesta de 20 submuestras de los primeros veinte centímetros de suelo. El muestreo se realizó siguiendo el tipo de muestreo sistemático en “M” buscando obtener una muestra homogénea y representativa. En el análisis se observó materia orgánica (%), fósforo (ppm), pH en agua y nitrógeno de nitratos (ppm).

² Información provista por Cátedra de Agrometeorología y Climatología Agrícola, Fac. Agron. y Vet., UN Río Cuarto, Argentina. 2006.

Análisis físico-químico del suelo

Materia Orgánica	1,22%
Nitrógeno de nitratos	20,30 ppm
Fósforo	18,00 ppm
pH (en agua 1:2,5)	6,39

Metodología utilizada:

Materia orgánica	Método Walkley-Black
N-Nitratos	Reducción por cadmio
Fósforo	Método Kurtz y Bray 1
pH	Potenciometría 1:2,5

El ensayo se dispuso en parcelas de 300 metros de largo por 7 metros de ancho a una distancia entre hileras de 0.7 metros. Al ser un lote homogéneo, el ancho de la parcela correspondió al ancho total de la sembradora (diez surcos), utilizando el largo total del lote (300 metros) para cada tratamiento. Se tomaron tres muestras de cada uno, las que se consideraron como repeticiones.

En el ensayo realizado no se tuvo en cuenta el análisis físico-químico del suelo, ya que el ensayo se llevo a cavo en un campo de un productor, el cual ya tenía planificada la siembra y la fertilización (90 kg/ha de fosfato de amonio a la siembra y 100 kg/ha de urea en V6).

Es por ello que los tratamientos se dividen en dosis completa y media dosis, por que lo que se quiere evaluar es el efecto de las PGPR a menores dosis de fertilizantes. Si bien el análisis dio, que los niveles de fósforo están por encima de los niveles críticos (15 ppm) el productor decidió colocar dicha dosis para mantener un balance positivo del fósforo.

Los tratamientos fueron los siguientes:

Tratamiento I:

- Testigo, semillas sin inocular, fertilizadas con 45 Kg. de fosfato de amonio (PDA) por hectárea.

Tratamiento II:

- Testigo, semillas sin inocular, fertilizadas con 90 Kg. de fosfato de amonio (PDA) por hectárea.

Tratamiento III:

- Inoculante comercial (Rizofos): semillas inoculadas, fertilizadas con 45 Kg. de fosfato de amonio (PDA) por hectárea.

Tratamiento IV:

- Inoculante comercial (Rizofos): semillas inoculadas, fertilizadas con 90 Kg. de fosfato de amonio (PDA) por hectárea.

Todos estos tratamientos se llevaron a cabo en un mismo lote, cuyo antecesor era un cultivo de soja bajo siembra directa, en la campaña 2004-2005. Antes de la siembra se realizó una pulverización con glifosato (2 litros/ha.), atrazina (2 litros/ha.) y acetoclor (1,5 litros/ha.) en una sola aplicación, para la prevención y control de insectos del suelo en los primeros estadíos del cultivo la semilla fue curada con imidacloprid (0,750 litros/100kg de semillas).

La semilla que se utilizó fue el híbrido de Nidera AX 964.

La siembra se realizó el 13 de octubre de 2005. Antes de comenzar la siembra se realizó la inoculación en un tambor mezclador, respetando la dosis a utilizar y la cantidad de semilla a inocular en cada uno de los tratamientos.

El sistema de siembra utilizado fue el de labranza cero (o directa), la distancia entre hileras de 0,70 metros, la distancia entre semillas de 0,20 metros, resultando en cinco plantas por metro lineal, obteniendo así una densidad de 71.428 semillas por hectárea.

En el estadío fenológico de seis hoja se realizó una refertilización con urea a razón de 90 kg./ha. para todos los tratamientos.

Características del híbrido:

Tipo de cruzamiento	Simple modificado
Tipo de grano	Duro anaranjado
Color de marlo	Blanco
Días a floración	80
Días a cosecha	173
Altura de inserción de la espiga	1.0 metro
Tolerancia al Mal de Río Cuarto	Muy tolerante
Resistencia al quebrado	Excelente
Resistencia al vuelco	Excelente
Semillas por metro lineal	5- 6,5
Siembra-emergencia	60 grados días
Emergencia-floración	750 grados días
Floración-madurez fisiológica	800 grados días

Fuente: Catálogo de semillas de maíz Nidera NK 2005

Métodos de Cuantificación de la promoción del crecimiento.

Determinaciones en 6 hojas (V6).

**Medición de la densidad de plantas/ha:*

Esta medición se realizó con una cinta métrica en la que se cuantificó la cantidad de plantas que había en 2,86 metros lineales. Luego se extrapoló a 14.300 metros lineales que tiene una hectárea (esto es para siembras con un espacio entre hileras de 0,7 metros), pudiendo así conocer la densidad de plantas por hectárea.

Esta medición fue realizada al azar, sobre las parcelas de cada uno de los tratamientos, con tres repeticiones por tratamientos.

**Medición de la longitud total de las raíces:*

La determinación se realizó por el método de la intersección de líneas (Newman E., 1966). Para ello se utilizó un área rectangular, dentro de la cual se construyó una cuadrícula. La raíz, luego de removido el suelo adherido a ella, se colocó sobre la grilla, y se procedió a contar el número de intersecciones entre las líneas de estas y los pelos radicales.

A partir del número de intersecciones se puede estimar la longitud de la raíz, mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{tt \cdot N \cdot A}{2H}$$

Donde **R**: Longitud total de la raíz.

N: Número de intersecciones entre los pelos radicales y las líneas de las cuadrícula.

A: Área del rectángulo.

H: Longitud total de las líneas de la cuadrícula.

tt: 3.14

Se tomaron muestras de cada tratamiento (cuatro plantas) con tres repeticiones por cada una de las parcelas realizadas.

• *Determinación del peso seco aéreo y de la raíz:*

Las plantas a las que se le determinó la longitud total de raíces, fueron cortadas a fin de dividir la parte aérea y la raíz. Ambas se colocaron en estufa, por separado, durante 48 horas a 60° C, hasta peso constante. Luego de este tiempo se determinó el peso seco.

Determinaciones a cosecha

** Densidad de plantas/ha:*

Se realizó de la misma manera que la medición en el estado de 6 hojas del cultivo.

**Espigas por planta:*

Se cuantificó el número de espigas por planta, en los cuatro tratamientos, con tres repeticiones.

** Peso de los granos/espiga:*

Se desgranaron espigas y se tomó el peso de los granos que tenían cada una para posteriormente estimar el rendimiento.

** Peso de los 1000 granos:*

Se pesaron 100 granos de cada uno de los tratamientos, y luego se extrapoló a peso de 1000 granos.

** Rendimiento:*

Con los datos de plantas/ha, espigas por planta y peso de los granos por espiga, se estimó el rendimiento (Rto.) en cada tratamiento.

Rto: plantas/ha. x espigas/planta. x peso de los granos/ espiga

Análisis de datos

El rendimiento fue la variable analizada estadísticamente mediante análisis de varianza (Infostat, 2002) con una $p = 0,05$ y se compararon los promedios con el test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados y discusión en seis hojas (V6)

De la misma manera que en la mayoría de los cultivos, en maíz existe una estrecha relación entre rendimiento y radiación fotosintéticamente activa interceptada por el canopéo. La variable principal para modificar la cantidad de radiación interceptada por el cultivo es la eficiencia de interceptación, que está fuertemente asociada a la generación y mantenimiento del área foliar (Cárcova *et al.*, 2004)

Es por ello que la densidad de plantas juega un rol importante en la captación de radiación, agua y nutrientes. Por éste motivo es muy importante obtener un stand de plantas óptimo desde la emergencia hasta la madurez.

En otros cultivos, como en la soja por ejemplo, ante situaciones de bajas densidades el cultivo compensa generando mayor crecimiento o ramificaciones. Ésta capacidad no se evidencia en el cultivo de maíz, por lo que debe evitarse las bajas densidades de siembra, procurando siempre un óptimo stand de plantas (Álvarez y Mulin, 2004).

Con respecto a la densidad se observó que en los cuatro tratamientos hubo una disminución en el stand de plantas no habiendo diferencias importantes entre los tratamientos. Esta disminución de plantas puede deberse a que el poder germinativo no fue el 100%, a problemas en la siembra, entre otros factores. La densidad promedio de los cuatro tratamientos fue de 63088 plantas/ha. siendo este resultado 11,6% inferior a la densidad de siembra (71428 sem/ha.). Se observa una tendencia favorable a los tratamientos inoculados con los no inoculados presentando estos últimos un menor número de plantas (Fig. 2).

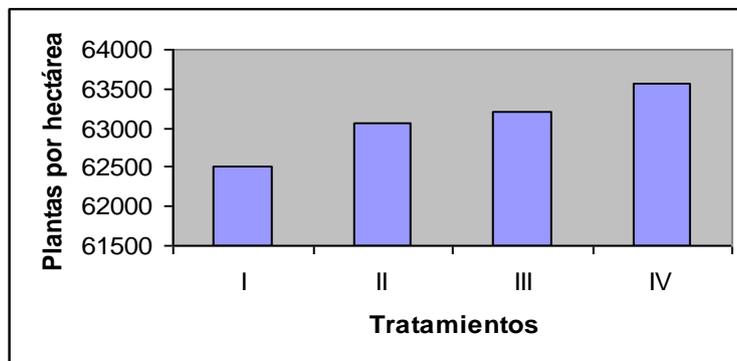


Fig. 2: Densidad de plantas por hectárea en V6, según distintos tratamientos.

Con respecto a la longitud de raíces en el estadio V6 (fig. 3) se observa una diferencia entre los tratamientos inoculados y los no inoculados, entre los tratamientos inoculados no hay una diferencia importante; lo mismo ocurre con los tratamientos no inoculados. El valor promedio de los tratamientos inoculados fue de 298 cm., siendo este valor 20,6% superior al valor de los no inoculados, el que fue de 247 cm. Estos resultados coinciden con las investigaciones de Bouillant (1997), Kloepper *et al.*, (1993) y Lippman *et. at.* (1995), quienes comprobaron que la inoculación lleva a un aumento significativo del sistema radical, ya que produce un mejor desarrollo del sistema radical de la planta (incrementa el número de raíces laterales y pelos radicales) y mejora la sanidad de la misma.

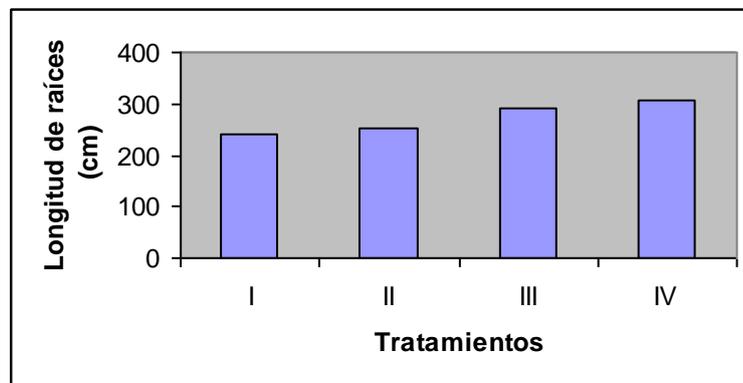


Fig. 3: Longitud de raíces por planta en V6, según distintos tratamientos.

En cuanto al peso seco de la parte aérea en V6 (Fig.4) se observó diferencias en los cuatro tratamientos, habiendo una tendencia al aumento de peso de la parte aérea, principalmente en aquellos tratamientos que fueron inoculados. La diferencia más notoria fue la del tratamiento IV (2,43 gr./planta) con el tratamiento I (1,58 gr./planta) siendo el primero 53% superior. Además existe una diferencia entre el tratamiento IV que es 36,5% superior al tratamiento II y 21,5% respecto del tratamiento III. Esto coincide con lo observado por Chabot *et al.*, (1993); y Kucey *et al.*, (1989) quienes demostraron e informaron que inocular las plantas con microorganismos solubilizadores de fósforo, como lo son las *Pseudomonas fluorescens*, estimula el crecimiento vegetal. De la misma manera, Nieto y Frankenberger (1989) y Alvarez *et al.* (1995) observaron una estimulación en el crecimiento ya que estas bacterias aumentan el reciclado y solubilización de los nutrientes minerales, además de sintetizar vitaminas; aminoácidos; auxinas; citocininas y giberelinas.

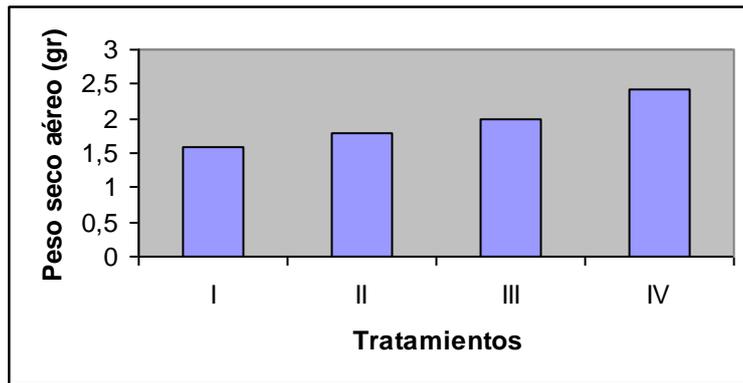


Fig. 4: Peso seco parte aérea por planta en V6, según distintos tratamientos.

La tendencia en el peso seco de la raíz por planta en el estadio de seis hojas (Fig.5) fue muy similar a la de la longitud de raíces, la diferencia más importante se dio entre los tratamientos inoculados y los no inoculados, ya que el peso promedio radical de los tratamientos III y IV, que fue de 1,63 gr./planta, superaría en un 44% al promedio de los tratamientos I y II. Esto evidencia que el aumento en el peso seco radical a iguales dosis de fertilizantes se debe a la inoculación. Esto coincide con Kloepper *et al.*, (1993) y Bashan *et al.* (1990) quienes propusieron que la utilización de *Pseudomonas* produce un mejor desarrollo del sistema radical.

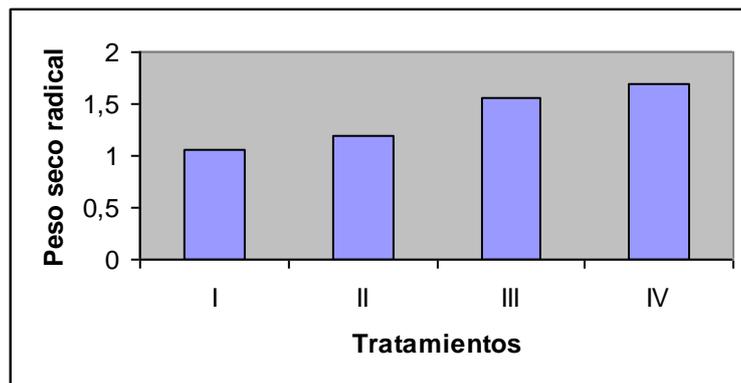


Fig.5: Peso seco radical por planta en V6, según distintos tratamientos.

Resultados y discusión al momento de la cosecha

Las determinaciones de los componentes del rendimiento se realizaron al momento de la cosecha. Uno de estos componentes es la densidad de plantas a cosecha que no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, aunque sí se observó un mayor número de plantas en los tratamientos inoculados que en los no inoculados, concordando con los valores obtenidos en el estadio de seis hojas (V6). La densidad a cosecha fue menor en todos los tratamientos respecto al estadio V6; esto se debe a que existen pérdidas de plantas durante el ciclo debido a ataques de plagas, competencia intraespecífica, competencia con malezas y vuelcos causados por la quebradura de la caña o por la acción del viento.

De acuerdo al stand de siembra, mientras más plantas por hectárea se logren, se obtendrían mayores rendimientos, ya que la densidad es uno de los componentes directos del rendimiento. La densidad entre los tratamientos varió entre un 3% y un 5% (Fig. 6).

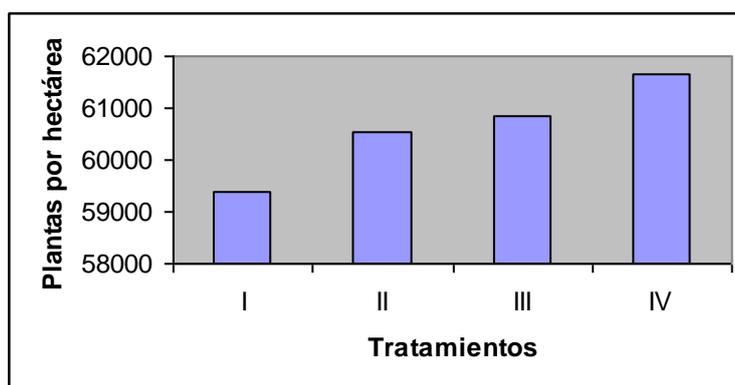


Fig. 6: Densidad de plantas a cosecha, según distintos tratamientos

Otro componente directo del rendimiento es el número de espigas logradas, esto depende del genotipo (prolificidad), fecha de siembra, densidad, utilización de fertilizantes y las condiciones ambientales transcurridas durante el ciclo.

Se observaron diferencias entre los tratamientos inoculados y los no inoculados. El promedio de los tratamientos inoculados fue de 1,1 espigas/planta, siendo este 5,7% superior al promedio de los no inoculados, que fue de 1,04 espiga/planta. Si bien éstos valores no muestran diferencias notorias, cuando se los lleva a número de espigas por hectárea, se puede

apreciar las diferencias, tendiendo a ser mayor éste valor en los tratamientos inoculados. La mayor diferencia se encuentra entre el tratamiento IV con 1,13 espigas/planta y el tratamiento I con 1,02 espigas/planta, el tratamiento II y III no presentan una diferencia importante entre ellos pero sí respecto del tratamiento I (Fig. 7).

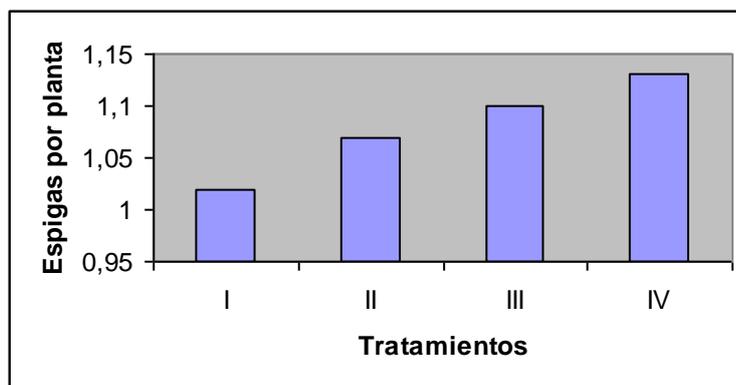


Fig. 7: Número de espigas por planta a cosecha, según distintos tratamientos.

El otro componente directo del rendimiento es el peso de los granos por espiga, es decir, a mayor peso de los granos mayor será el rendimiento, y esto está en relación directa con el número de granos. En los resultados obtenidos no se observan diferencias significativas entre los distintos tratamientos (Fig. 8), esta diferencia no es notoria debido a que todos los tratamientos presentan más de una espiga/planta, siendo una espiga normal y la otra más pequeña que la normal. Se considera como espiga normal a aquella que se llena primero y, si las condiciones ambientales son favorables, se comenzará a llenar una segunda espiga que será de menor tamaño debido a que la cantidad de fotoasimilados y el tiempo le serán insuficiente para lograr el tamaño de la primera. Por lo cual en aquellos tratamientos con mayor número de espigas/planta (mayor prolificidad) el promedio del peso de granos/espiga es menor.

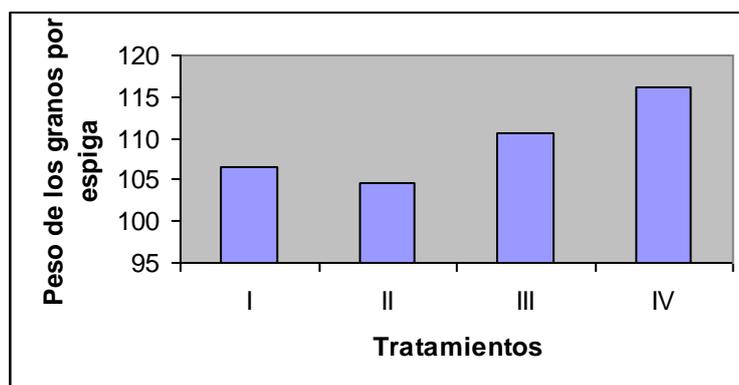


Fig. 8: Peso de los granos por espiga a cosecha, según distintos tratamientos.

Como se dijo con anterioridad, otro componente directo del rendimiento es el peso de los granos, ya que a mayor peso de los granos es de esperar mayores rendimientos. Para éste componente se evaluó el peso de los mil granos (Fig.9). Se observa una tendencia favorable hacia los tratamientos inoculados, ya que el promedio de los tratamientos inoculados fue de 312,5gr/mil granos siendo este resultado 6,7% superior al promedio de los no inoculados, que fue de 292,85gr/mil granos. Se destacó el tratamiento IV con un peso de los mil granos de 317gr frente a los otros tratamientos pero, en particular, del tratamiento I con un peso de los mil granos de 285gr, resultando 10,1% inferior.

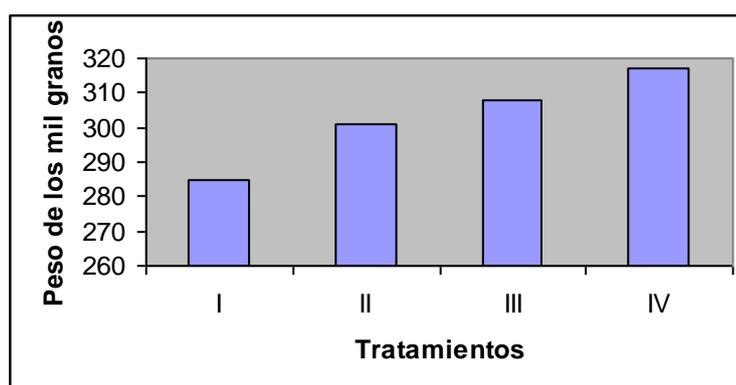


Fig. 9: Peso de los mil granos a cosecha, según distintos tratamientos.

Habiendo analizado todos los componentes del rendimiento, se procede a analizar lo que sucedió con los rendimientos del cultivo. Para ello se comparan los resultados en quintales por hectárea (qq/ha).

El rendimiento depende de numerosos factores tales como la densidad de siembra, la temperatura, los niveles de radiación, las precipitaciones (Fig.1), disponibilidad de nutrientes y el genotipo. Durante el período crítico del cultivo³ la ocurrencia de estrés hídrico o lumínico, así como deficiencia de nutrientes provocarían una merma importante en el rendimiento, es por ello que se debería recurrir a todas las herramientas disponibles para que este período coincida con las condiciones óptimas.

Las condiciones climáticas transcurridas en la campaña 2005-2006 (Fig. 1) no fueron las óptimas ya que se registraron 515 mm. en el período comprendido de octubre del 2005 a marzo del 2006 mientras que en la campaña anterior se habían registrado 787 mm. Esto permitiría afirmar que el cultivo no pudo expresar su potencial. Además, si se tiene en cuenta que la floración de este cultivo ocurrió entre el 25 y 30 de diciembre, se deduce que el cultivo estuvo afectado durante el período crítico.

En cuanto al rendimiento se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos inoculados y los no inoculados. El tratamiento IV presenta diferencias estadísticamente significativas en relación a los demás tratamientos, del mismo modo el tratamiento III muestra diferencias estadísticamente significativas en relación al tratamiento I y II, sin observar diferencias entre el tratamiento I y II. (Fig.10).

³ Período crítico del cultivo de maíz: se extiende 20 días antes de floración y unos 15 días posteriores a la misma

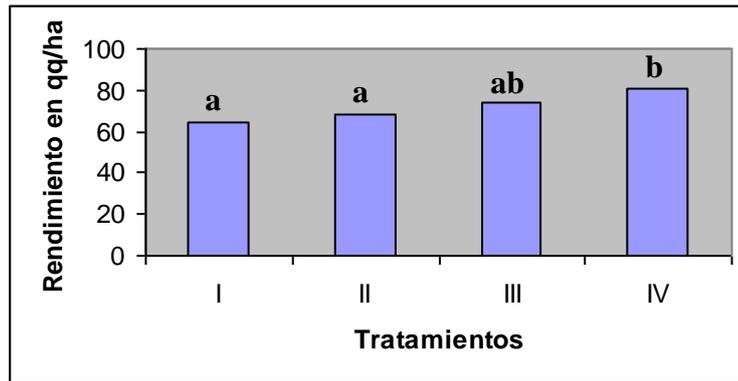


Fig. 10: Rendimiento en quintales por hectárea a cosecha, según distintos tratamientos.

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según el Test de Tukey

Esto coincide con lo propuesto por Okon y Labandera-Gonzales (1994), quienes afirman que la inoculación y la fertilización producen un incremento significativo en el rendimiento en el rango de 5-30%, o lo propuesto por Bashan y Levanony (1990) quienes, en ensayos a campo, obtuvieron un incremento en el rendimiento del 10-30%.

Bouillant M (1997) aseguró que la inoculación lleva a un aumento significativo del sistema radical, induce la resistencia a agentes patógenos, provee elementos como el nitrógeno, inhibe la proliferación de plantas parásitas y produce hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, lo que permite un desarrollo más económico y saludable de los cultivos.

Los resultados analizados a lo largo del ciclo del cultivo y confirmados en el rendimiento nos permiten decir que la combinación del fertilizante en diferentes dosis con el inoculante son significativas para el cultivo de maíz. Lo importante es que se logra aumentar los rendimientos de manera sencilla, económica y sustentable, sin contaminar el suelo y sin utilizar sustancias nocivas para los seres vivos (Swaminathan *et al.*, 1991).

CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos podemos concluir:

- ▶ La longitud de raíces en el estadio V6 muestra una diferencia entre los tratamientos inoculados y los no inoculados, además el tratamiento con dosis completa e inoculado mostró el mayor valor.
- ▶ El peso seco aéreo y radical en el estadio V6 sigue una tendencia similar mostrando una diferencia a favor de los tratamientos inoculados, presentando valores máximos en el tratamiento IV para ambas mediciones.
- ▶ En V6 y a cosecha se evaluó densidad de plantas por hectáreas, y aunque hubo una disminución general en los cuatro tratamientos, los inoculados tienden a tener mayor densidad que los no inoculados.
- ▶ A cosecha los parámetros evaluados número de espigas por planta, peso de los granos por espiga y peso de los mil granos muestran diferencias entre los tratamientos inoculados y los no inoculados continuando con la tendencia observada anteriormente.
- ▶ El rendimiento presentó diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos III y IV en relación a los testigos fertilizados. A mitad de dosis de fertilizante e inoculado no arroja valores máximos, pero se observó que este es superior a los tratamientos I y II.

De los datos obtenidos observamos que se puede usar menor cantidad de fertilizantes combinado con productos biológicos obteniéndose en la mayoría de los casos rendimientos superiores a los testigos fertilizados.

Otro aspecto a tener en cuenta es que diversos factores se interrelacionan en la determinación del rendimiento, entre ellos la genética del cultivar, las variables climáticas, edáficas y el manejo del cultivar.

Las PGPR en asociación no simbiótica con los cultivos han demostrado capacidad para combinarse con los fertilizantes y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Felipe M. R en Bedmar *et al.*, 2006)

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER M. 1980. **Transformaciones microbianas del fósforo.** (p.: 355-371). En: Introducción a la microbiología del suelo. AGT editor, México, 491 p.
- ALVAREZ C. y MULIN E. 2004. **El gran libro de la siembra directa.** Clarin (Ed.). Cap. 1(pag. 3); Cap. 3 (pag. 34); Cap. 15 (pag. 166-189).
- BARBIERI, P., ZANELLI, GALLI, E. and ZANETTI, G. 1986. Wheat inoculation with *Azospirillum brasilense sp.* and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. **FEMS Microbiol. Lett.** 36: 87-90.
- BASHAN, Y. and LEVANONY, H. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation technology; *Azospirillum* as a challenge for agriculture. **Can. J. Microbiol.** 36:591-608.
- BEDMAR EJ, GONZALEZ J, LLUCH C, RODELAS B. 2006. Fijación de Nitrógeno: Fundamentos y Aplicaciones. Cap. 1: **Fijación Biológica de dinitrógeno atmosférico en vida libre.** Granada.
- BOUILLANT, M. 1997. Inhibition of *Striga* seed germination with sorghum growth promotion by soil bacteria. **Sciences de la Vie.** Vo1.320, no.2,p. 159-162.
- BOWEN, G.D. and ROVIRA, AD. 1991. The rizosphere, the hidden half pp.66 1-669 In:Y. waisel, A Eshel and U. Kafkafi (eds). **Plant roots, the hidden half.** Mareel Dekker, New York.
- BROWN, ME. 1974. Seed and root bacterization. **Annual Rev. of Phytopathology** 1 181-197.
- CABALLERO MELLADO N. 2002. Publicado en **actas** 12th International Congress on nitrogen Fixation. 12-17 de Septiembre de 1999, Parana, Brasil.
- CAMPBELL, R. (1985). **Plant Microbiology.** Edwards Arnold, Londres.
- CÁRCOVA, J.; BORRÁS, L y OTEGUI, M E. 2004 Ciclo Ontogénico, Dinámica del Desarrollo y Generación del Rendimiento y la Calidad en Maíz. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Pg 135-163.
- CASTIGNETTI, D. and SMARRELLI, J. JR. 1986. Siderophes, the iron nutrition of plants, and nitrate reductase. **FEBS Lett.** 209: 147-151.

- CHABOT, R, ANTOUN, H. and CESCAS, M.P. 1993. Stimulation de croissance du maïs et de la laitue romaine par des microorganismes dissolvant le phosphore inorganique. **Can. J. Microbiol.** 39: 941-947.
- CHANWAY, C. P., ILIMES R.K. and NELSON L.M. 1989. Plant growth-promoting Rhizobacteria: Effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* Moench.) and pea (*Pisum sativum* L.). **Soil Biol. Biochem.** 21: 511-517.
- CLELAND, R.E. 1990. Auxin and cell elongation in Plant Hormones and their role plant growth and development. Edited by P.J. Davies. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. pp. 132-148.
- ELMERICH, C. 1984. Molecular biology and ecology of diazotrophs associated with non-leguminous plants. **BioTechnology**, 2: 967-978.
- FRIONI, L. 1999. **Procesos microbianos**. Tomo II. Ed Fund. UN de Río Cuarto. ISBN: 950-665-109.
- FROMMEL, M.L., NOWAK, J. and LAZAROVITS G. 1991. Growth enhancement and development modifications of *In vitro* grown potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Tuberosum*) as affected by a nonfluorescent *Pseudomonas* sp. **Plant Physiol.** 96. 928-936.
- GERRETSEN F. C. 1948. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. **Plant and Soil** 1: 51-81.
- GLICK, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. **Can. J. microbiol.** 41: 109-117.
- HAGEN, G. 1990. The control of gene expression by auxin. **In Plant hormones and their role in plant growth and development**. Edited by P.J. Davies. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. pp. 132-148.
- HERNANDEZ, A.N. 1998. Selección de cepas de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Proyecto 300089, INCA.
- HORNBY, D. 1990. Root diseases, pp. 233-528. In: J.M. Lynch (ed). **The rizosphere**. Wiley, Chichester, U.K.
- INFOSTAT. 2002. **Infostat. Versión 1.1. Manual del Usuario**. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- INTA. 2004. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Buenos Aires.

- KAPULNICK, Y. 1991. **Plant growth-promoting rhizobacteria**, pp. 717-729. In: Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi (eds). *Plant roots, the hidden half*. Marcel Dekker, New York, USA.
- KATNELSON H. and BOSE B. 1959. Metabolic activity and phosphate-dissolving capability of bacterial isolates from wheat roots, rhizosphere soil. **Can. J. Microbiol.** 5:79-85.
- KLOEPPER J. W. 1993. Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents. **Soil Microbial Ecology** (Ed) F, B. Metting Jr 255-274.
- KLOEPPER, J.W. and SCHROTH M.N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. Proc. 4th Int. Conf. Plant. Path. Bact. Angers. 879-882.
- KLOEPPER, J.W., LIFSHITZ, R and SCHROTH, M.N. 1988. *Pseudomonas* inoculants to benefit plant production. **ISI Atlas Sci. Anim. Plant. Sci.** pp. 60-64.
- KLOEPPER, J.W., LIFSHITZ, R and ZABLOTOWICZ, RM. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. **Trends Biotechnol** 7: 39-43.
- KUCEY, R.M.N., JANZEN, H.H. and LEGGET, M.E. 1989. Microbially mediated increases in plant-available phosphorous. **Adv. Agron.** 42: 199-228.
- LEMANCEAU, P. and ALABOUVETTE, C. 1991. Biological control of fusarium diseases by *fluorescent Pseudomonas* and non- pathogenic *Fusarium*. *Crop. Protect.* 10: 279-286.
- LIPPAMN, B., LEINHOS, V. and BERGMANN, H. 1995. Influence of auxin producing rhizobacteria on root morphology and nutrient accumulation of crops. 1. Changes in root morphology and nutrient accumulation in maize (*Zea mays* L.) caused by inoculation with indole-3-acetic acid (IAA) producing *Pseudomonas* and *acinetobacter* strains or IAA applied exogenously. **Angew Bot.** 69: 31-36.
- LYNCH, J.M. 1990b Some consequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil, pp. 1-10. In: Lynch, J.M. (ed.). **The rizosphere**. Wiley, Chichester U.K.
- LYNCH, J.M. 1990c Beneficial interactions between microorganisms and roots. **Biotech. Adv.** 8: 335-346.

- LYNCH, J.M.1990a. **The rhizosphere**. Ed. Wiley, Chichester Interscience Chichester- England
- NEILANDS, J.B. and LEONG, S.A.1986. Siderophores in relation to plant growth and disease. **Annu. Rev. Plant Physiol.** 37: 187-208.
- NIETO, K and FRANKENBERGER, W. JR. 1989 Biosynthesis of cytokinins in soil; Soil Science Society of America Journal. 53: 735-740.
- OKON, Y. y LABANDERA-GONZALEZ. C. A. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biol. Biochem.**,26: 1591-1601.
- OKON, Y., and HADAR, Y., 1987. Microbial inoculants as crop-yield enhancers. **CRC Critical Rev. In Biotechnol** 6: 61-85.
- O'SLLIVAN, D.J. and O'GARA, F., 1992. Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. involved in suppression of plant root pathogens. **Microbiol. Rev.** 56: 662-676.
- PEIX A, RIVAS-BOYERO A, MAREOS P F, RODRÍGUEZ-BARRUECO C, MARTÍNEZ MOLINA E, y VELAZQUES E. 2001. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. **Soil Biol. Biochem.** 33:103-110.
- RICHARDSON, A.E. 1994. Soil microorganisms and phosphorus availability. In Soil Biota. Management in sustainable Farming Systems. Ed. C.E. Pankhurst. pp. 50-62.
- RODRIGUEZ H, FRAGA R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotech. Adv.** 17:319-339
- ROVIRA, A. y CAMPBELL, P. 1974 Scanning electron microscopy of microorganisms on roots of wheat. **Microbial Ecology.** 1: 15-32.
- SAGPYA, 2006. Estimaciones agrícola – Cereales – Maíz.
www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/infmaíz. Consultado: 07-09-2006
- STEENHOUDT, O. and VANDERLEYDEN, J. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associate with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiol. Rev.** 24: 487-506.
- SWAMINATHAN M. S: 1991. Sustainable agricultural systems and food security. **Outlook on Agriculture** 20: 243-249.

- TANG, W.H. 1994. Yield-increasing bacteria (YIB) and biocontrol of sheat bligth of rice. **In Improving plant productivity with rhizosphere bacteria.** Edited by M.H. Ryder, P.M. Stephens and G.D. Bowen. Commonwealth Scientific and industrial Research Organisation. Adelaide, Australia. pp. 267-268.
- VAN LOON, L.C. KABER P.A.H. and PIETERSEN., C.M.J. 1998. Systematic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Ann. Rev., Phytopatbol**, 3: 453-483.
- VAN PEER R. and SCHIPPERS, B. 1989. Plant growth responses to bacterization with selected *Pseudomonas spp.* strains and rhizosphere microbial development in hydroponic cultures. **Can. J. Microbiol.** 35: 456-463.
- VOISARD, C., KEEL, C., HAAS, D. and DEFAGO, G. 1989. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under anotobiotic conditions. **EMBO J.** 8: 351-358.
- WOLDENDORP, WW. 1978 The Rhizosphere as part of the plant-soil system. En: Structure and functioning of plant population. Verhandelingen der Koninklijke, Nederlandse Akademie Van Wetenschappen, Afdeling Natuurkunde Twede Reeks, Deel 70.

ANEXO

DENSIDAD DE PLANTAS POR HECTÁREA EN V6

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	62280	62667	62550	62499
TRATAMIENTO II	63000	63060	63150	63070
TRATAMIENTO III	63358	62956	63325	63213
TRATAMIENTO IV	63380	63505	63825	63570

LONGITUD DE RAÍCES EN V6

MUESTRA	1	2	3	4	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	216,6	208,4	269,5	265,5	240
TRATAMIENTO II	285	244,9	229,2	260,6	254
TRATAMIENTO III	307,7	279,4	285,7	292	291
TRATAMIENTO IV	298	301,4	307,7	314	305

PESO SECO PARTE AÉREA EN V6

MUESTRA	1	2	3	4	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	1,6	1,45	1,5	1,7	1,58
TRATAMIENTO II	2,65	2,25	1,3	0,95	1,78
TRATAMIENTO III	2,25	1,4	2,1	2,25	2
TRATAMIENTO IV	1,8	2,65	3,05	2,25	2,43

PESO SECO RADICAL EN V6

MUESTRA	1	2	3	4	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	1,05	0,9	1,2	1,05	1,05
TRATAMIENTO II	1,25	1	1,15	1,4	1,2
TRATAMIENTO III	1,75	1,15	1,55	1,75	1,55
TRATAMIENTO IV	1,65	1,3	2,15	1,75	1,7

DENSIDAD DE PLANTAS A COSECHA POR HECTARÉA A COSECHA

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	59166	59533	59423	59374
TRATAMIENTO II	60480	60537	57074	60547
TRATAMIENTO III	60982	60595	60950	60842
TRATAMIENTO IV	61478	61599	61912	61662

ESPIGAS POR PLANTA A COSECHA

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	1	1	1,05	1,02
TRATAMIENTO II	1	1,2	1	1,07
TRATAMIENTO III	1,1	1,1	1,1	1,1
TRATAMIENTO IV	1,1	1,1	1,2	1,13

PESO DE LOS GRANOS PORESPIGA

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	105	107,3	107,2	106,5
TRATAMIENTO II	106,5	101,1	106,2	104,6
TRATAMIENTO III	111	109,8	111,3	110,7
TRATAMIENTO IV	115	114,6	118,7	116,1

PESO DE LOS MIL GRANOS

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	290	280	285	285
TRATAMIENTO II	301	298	301	300,7
TRATAMIENTO III	305	308	311	308
TRATAMIENTO IV	320	315	316	317

RENDIMIENTO EN KG/HA

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
TRATAMIENTO I	6250	6535	6580	6455
TRATAMIENTO II	6600	6450	7290	6780
TRATAMIENTO III	6740	7875	7618	7411
TRATAMIENTO IV	8025	7945	8300	8090