

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

USO DE ENDOMICORRIZA ARBUSCULAR Y PGPR EN
COMBINACIÓN CON LA FERTILIZACIÓN DE FDA EN MAÍZ

MONCALERO, ADRIAN DAVID
DNI: 31101519

Director: Ing. Agr. MSc. Espósito Gabriel.
Co-Director: Ing. Agr. Guillermo Balboa

Río Cuarto – Córdoba
SEPTIEMBRE 2014

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Uso de endomicorriza arbuscular y PGPR en combinación con la fertilización fosfatada en Maíz.

Autor: Moncalero, Adrian David

DNI: 31101519

Director: Ing. Agr. MSc. Esposito, Gabriel Pablo

Co-Director: Ing. Agr. Balboa, Guillermo.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión
Evaluadora:

Dra. Thuar, Alicia _____

Ing. Agr. MSc Cerioni, Guillermo _____

Dr. Esposito, Gabriel _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

Agradecer principalmente a toda mi familia en especial mi madre y mi padre por haber confiado, brindar todo su apoyo y con gran esfuerzo permitir que finalice mis estudios universitarios, un agradecimiento especial a los que integran la cátedra de Cereales de la UNRC por haberme acompañado, guiado y colaborado con la realización del trabajo final para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Agradezco a mis compañeros y amigos de la facultad por su amistad, apoyo y colaboración durante estos años. Por último pero no menos importante agradecer de todo corazón a mi novia quien será la madre de mi primer hija y espero que seamos muy felices como o hemos sido hasta ahora. Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	VI
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES:	7
II.1. HIPÓTESIS:	6
II.2. OBJETIVO GENERAL:	6
II.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	6
III. MATERIALES Y METODOS	9
III.1. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO.....	9
III.1.1. CLIMA	9
III.1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS	9
III.2. DETERMINACIONES REALIZADAS	11
III.2.1 A NIVEL DEL SUELO.....	11
III.2.2 A NIVEL DEL CULTIVO	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
IV.1. RESULTADOS EN LA LOCALIDAD DE CHAJÁN	15
IV.2. RESULTADOS EN LA LOCALIDAD DE CUATRO VIENTOS.....	17

V. CONCLUSIONES.....	22
VI. BIBLIOGRAFIA	23
VII. ANEXOS	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Analisis de suelo al momento de la siembra en el ensayo de Chaján.	12
Tabla 2. Analisis de suelo al momento de la siembra en el ensayo de Cuatro Vientos.	12
Tabla 3. Fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos del híbrido DK 190 MGR2, en Chaján.	13
Tabla 4. Fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos del híbrido DK 190 MGR2, en Cuatro Vientos.	13
Tabla 5. Intercepción de la radiación en V_{13} . Localidad de Chaján. Campaña 2010-2011.	15
Tabla 6. Intercepción de la radiación en R_3 . Localidad de Chaján. Campaña 2010-2011.	15
Tabla 7. Rendimiento y componentes directos. Ensayo de Chaján. Campaña 2010-2011.	16
Tabla 8. Intercepción de la radiación en V_{13} . Localidad de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011.	17
Tabla 9. Intercepción de la radiación en R_3 . Localidad de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011.	17
Tabla 10. Rendimiento y componentes directos. Ensayo de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011.	18
Tabla 11. Eficiencia en el uso de fósforo, localidad de Chaján. Campaña 2010-2011.	20
Tabla 12. Eficiencia en el uso de fósforo, localidad de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011.	20

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de un inoculante compuesto de endomicorriza arbuscular y Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) en el cultivo de maíz, con y sin fertilización con FDA en dos ambientes del sur de Córdoba. El primer sitio se ubica en cercanías de la localidad de Chaján, a 80 km al sur-oeste de la ciudad de Río Cuarto y el segundo sitio se encuentra en la zona rural de Cuatro Vientos a 25 km al oeste de Río Cuarto, ambos sitios fueron seleccionados por su disponibilidad de fósforo del suelo previo a la siembra, en la campaña 2010-2011. Se evaluó la intercepción de la radiación en estadios fenológicos V_{13} y R_3 a través del programa SisCob V 1.0; se analizó el rendimiento en kg ha^{-1} y componentes directos del rendimiento (número de granos por metro cuadrado y peso de 1000 granos);. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante análisis de la varianza y las medias fueron separadas mediante el test LSD de Fisher. La inoculación con micorrizas y el agregado de fertilizante (FDA 100 kg ha^{-1}) lograron incrementar los rendimientos en un 17,74% con respecto al testigo en el ensayo de Chaján, y en Cuatro Vientos el incremento fue de 11,62% respectivamente. Con respecto a la intercepción de la radiación no se observaron diferencias estadísticas en V_{13} y R_3 , aunque los tratamientos inoculados y fertilizados obtuvieron los mayores porcentajes de cobertura en el estadio fenológico R_3 .

Palabras claves: micorrizas- fertilizante- maíz- rendimiento- intercepción de la radiación.

SUMMARY

“ARBUSCULAR ENDOMYCORRHIZA USE AND PGPR IN COMBINATION WITH PHOSPHATE FERTILIZATION IN CORN”

We evaluated the performance of arbuscular endomycorrhiza compound and PGPR) in corn, with and without PDA fertilization in two environments in southern Córdoba. The first site is located in the vicinity of the town of Chaján, 80 km south-west of the city of Rio Cuarto and the second site is located in the rural area of Cuatro Vientos at 25 km west of Rio Cuarto, both sites were chosen for their availability of phosphorus in the soil before planting, in the year 2010-2011. Yield was analyzed in kg/ha and yield direct components (number of grains per square meter and 1000 grain weight); radiation interception was evaluated at V_{13} and R_3 phenological stages throughout the program Sis Cob V1.0. Results were statistically analyzed using analysis of variance and means were separated by Fisher LSD test. Mycorrhizal inoculation and the addition of fertilizer (FDA 100 kg/ha) were able to increase yield by 17,74% compared with the control in testing Chaján, and Cuatro Vientos, the increase was 11,62% respectively. Interception of radiation showed no statistical differences in V_{13} and R_3 , but inoculated and fertilized treatments received the highest percentage cover in R_3 phenological.

KEYWORDS: mycorrhizal- fertilizer- corn- yield- radiation interception.

I. INTRODUCCION

La agricultura se expandió durante los últimos 50 años en la Argentina, a expensas de los bosques naturales y pastizales. Paralelamente la productividad se ha visto impulsada por la creciente aplicación de insumos externos, tecnología moderna y prácticas de manejo (Viglizzo *et al.*, 2010).

En la Argentina la agricultura está fuertemente identificada con cuatro cultivos de granos a saber: trigo, maíz, girasol y soja. Ello se debe tanto a la superficie dedicada a su producción como a los ingresos que generan de sus exportaciones. Muchas de las regiones que hoy son casi exclusivamente productoras de grano, hace unos pocos años eran identificadas como mixtas, pues coexistían en ellas la producción de granos y la ganadería. En los últimos 20 años esas tierras experimentaron enormes transformaciones, la producción de trigo, maíz, girasol y soja aumentó cerca del 66%. El área sembrada se incrementó cerca del 35%, este proceso extendió la superficie agrícola y relegó la actividad ganadera. El cambio de actividad no fue parejo para todos los cultivos sino que se concentró en la soja, que se convirtió en el cultivo dominante de amplias zonas (Satorre, 2005).

El avance tecnológico sobre la genética del maíz condujo a que sea el cultivo con mayor aumento de rendimiento en los últimos 30 años. Por otra parte la oferta y variedad de los insumos utilizados en su producción, tales como agroquímicos, fertilizantes, maquinaria, etc., provocaron profundos cambios para que tenga cada vez mayores rendimientos a pesar de una caída en el área de cobertura a favor de otros cultivos, la producción mostró volatilidad en las últimas campañas a partir de menores siembras e impacto de las condiciones climáticas en los momentos claves para la determinación de los rindes (FyO, 2013). En cuanto a ventas externas, la Argentina es el segundo exportador mundial de maíz ocupando el primer lugar Estados Unidos. Hasta hace pocos años, nuestro país exportaba un 80% del maíz producido y solo transformaba internamente el 20%. Hoy la cadena de maíz argentino transita un proceso de cambio, donde el consumo interno crece en forma muy acelerada, especialmente por parte de las industrias que lo utilizan como materia prima para la transformación de proteína (avicultura, ganadería, lechería y cerdos), los biocombustibles y las industrias de molienda seca y húmeda (Gear, 2006).

En la Argentina el cultivo de maíz es implantado en distintas provincias, las cuales comprenden la región del NEA, NOA, centro y este del país, siendo muy importantes en cuanto a producción Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, esta última recientemente se ha convertido en la principal productora de maíz del país (MAGyP, 2010).

En Argentina el área cultivada de maíz representa aproximadamente el 11% del área total sembrada con cereales y oleaginosas y el 30% del área destinada a cereales. Su cultivo demanda como insumos cerca de 8000 toneladas de semilla híbrida fiscalizada por el

INASE. Se cuenta con una fuerte y competitiva industria semillera, cuya producción se concentra en unas pocas empresas transnacionales, localizadas en Buenos Aires y Santa Fe. Existen criaderos nacionales, aunque con mucha menor participación en el mercado. El 10% de la facturación total de agroquímicos se relaciona con el cultivo de maíz (70% de los herbicidas, 20% de los insecticidas y 9% de los curasemillas (Eyherabide *et al.*, 2009).

El área de cobertura del maíz mostró cambios en las últimas campañas llegando al nivel máximo durante el ciclo 2007/2008 con aproximadamente 4,2 millones de hectáreas sembradas con un rendimiento promedio de 65 quintales por hectárea, en la campaña 2008/2009 la superficie fue de 3,5 millones de has (rendimiento 55 qq ha⁻¹), en el 2009/2010 fue de 3,6 millones de has (rendimiento 80 qq ha⁻¹), 2010/2011 aumentó a 4,5 millones de has (rendimiento 61 qq ha⁻¹), llegando en la campaña 2011/2012 a las 5 millones de has sembradas (rendimiento 51 qq ha⁻¹), estableciéndose un record de siembra de 6,1 millones de has en la campaña 2012/2013 con un rendimiento promedio de (51 qq ha⁻¹). Con respecto a la provincia de Córdoba las últimas 5 campañas mostraron una tendencia positiva en relación a la superficie sembrada, en la campaña 2008/2009 la misma fue de 1.493.645 has, 1.353.084 has (2009/2010), 1.637.137 has (2010/2011), 1.813.476 has (2011/2012) y en la última campaña 2012/2013 la superficie fue de 1.629.726 has, cuyos rendimientos promedios de la provincia expresados en qq ha⁻¹ de dichas campañas fueron de 65, 73.6, 65, 50.8 y 69.5 respectivamente. La producción de maíz de la campaña 2012-2013 fue record para la provincia, la caída en superficie sembrada fue compensada por los mayores rendimientos generando un volumen de producción cercano a los 10 millones de toneladas (FyO, 2013).

En este cultivo, el manejo eficiente de la nutrición es fundamental para alcanzar rendimientos elevados, sostenidos en el tiempo y resultados económicos positivos. Los nutrientes que limitan en mayor medida su productividad en la región pampeana son el nitrógeno, el fósforo y más recientemente el azufre (Melgar y Torres Dugan, 2006).

Una buena disponibilidad de nutrientes asegura un buen crecimiento foliar, lo que le permite al cultivo alcanzar rápidamente y mantener la cobertura total del suelo y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa. Esto garantiza un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la determinación del rendimiento. Cuando los requerimientos nutricionales no son satisfechos, se resiente principalmente el área foliar y la eficiencia fotosintética, por lo que la tasa de crecimiento del maíz se reduce (Andrade *et al.*, 1996).

En Argentina, el incremento de la producción agrícola está estrechamente relacionado con las mayores tasas de fertilización. En la actualidad el consumo de fertilizantes fosforados alcanza las 750.000 toneladas provenientes en su totalidad de la importación, en cuanto al nitrógeno se estima que el consumo anual es de 1 millón de

toneladas, dichos insumos requieren gran demanda de energía para su fabricación, esto hace que su valor económico sea muy afectado por las fluctuaciones internacionales del precio del petróleo. La tendencia creciente del precio de los fertilizantes y las consecuencias ambientales que trae aparejada la utilización de estos productos obliga a incrementar la eficiencia en el uso de estos recursos (Faggioli *et al.*, 2009).

Las raíces de los cultivos pueden mejorar la eficiencia de absorción de los nutrientes del suelo y los fertilizantes aumentando el volumen de suelo explorado y/o tasa de absorción por unidad de raíz. El incremento de volumen de suelo explorado por las raíces es estimulado por ciertos organismos del suelo, conocidos como bacterias promotoras del crecimiento (PGPR- siglas en ingles de Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Los mecanismos de acción de las PGPR se basan en la estimulación del crecimiento de las raíces a través de la exudación de ciertos compuestos químicos (fitohormonas). La mayor exploración radical permite acceder a sitios del suelo enriquecidos con nutrientes poco móviles como el fósforo. Una de las PGPR mas estudiadas pertenece al género *Azospirillum*. El mayor desarrollo radical inducido por la inoculación con *Azospirillum* conduce a una mayor absorción de agua y nutrientes del suelo que se refleja en el mayor crecimiento del tallo y el follaje (Faggioli *et al.*, 2009).

La utilización de fertilizantes biológicos es un concepto que se ha puesto en práctica desde hace mucho tiempo en la Región Pampeana Argentina, pero en los últimos años ha tomado un impulso creciente, a partir del desarrollo de productos de mayor calidad, y orientados hacia nuevos cultivos (Ferraris y Couretot, 2006).

La aplicación de tratamientos biológicos con microorganismos seleccionados puede ser descripta por su acción directa en la reducción de limitaciones nutricionales. No por las cantidades de nutrientes aportados sino por su acción en el desarrollo de raíces y en acumulación inicial de biomasa aérea. En maíz (*Zea mays L*), entre otros cultivos, los cambios atribuidos a la incorporación de microorganismos PGPR, (*Azospirillum sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Deltia acidovorans*, *Rhizobium etli*, *Bacillus*, etc.) han sido mostrados en variados ambientes con diferente magnitud sobre los rendimientos. La variabilidad de resultados se ha atribuido tanto a la interacción con factores de manejo (fertilización, estructura del cultivo, etc.), como también del ambiente (tipo de suelo, precipitaciones, etc.). Algunos de estos microorganismos han sido eficientemente aislados y multiplicados para la formulación de inoculantes para su aplicación en escala de producción (Micucci y Zorita, 2010).

La biología de los suelos es un área de creciente interés en la agricultura actual. La misma se centra no solamente en el estudio de los procesos dinámicos que ocurren en los suelos, sino también en las posibilidades de mejorarlas de manera directa e indirecta. Las medidas indirectas contemplan la creación de un ambiente adecuado para la proliferación de

microorganismos favorables, mediante prácticas de cultivo que estimulen la ganancia de materia orgánica en el suelo, la estabilidad de sus agregados y una cobertura de residuos que en lo posible, evite oscilaciones hídricas extremas. El uso extensivo de inoculantes conteniendo microorganismos promotores del crecimiento vegetal ha tenido una creciente difusión en los últimos años. En ensayos de investigación, se han reportado al presente incrementos en los rendimientos bajo diferentes ambientes productivos que justifican este nivel de difusión. Por otra parte, la forma directa de mejorar la biología del suelo contempla su introducción por medio de inoculantes en un ambiente propicio para su establecimiento (Ferraris *et al.*, 2009).

Desde hace tiempo se reconoce que la fijación biológica de nitrógeno (FBN) realiza un aporte considerable de este nutriente a las plantas de la familia de las leguminosas. Sin embargo, la utilización por parte de los productores de inoculantes a base de las bacterias encargadas de este proceso era restringida hasta hace pocos años. El desarrollo de productos de mayor calidad y los resultados favorables observados en ensayos de investigación posibilitaron que se incremente su uso, a la vez que despertaron interés sobre otros microorganismos como *Azospirillum*, *Pseudomonas* o micorrizas. Estos, están orientados a favorecer la adquisición de nutrientes por parte de los cultivos, principalmente gramíneas, a la vez de ejercer un efecto promotor del crecimiento que ayude a superar situaciones de estrés o simplemente lograr incrementar su tasa de crecimiento en algún estadio importante para la definición de los rendimientos (Ferraris y Couretot, 2006).

El fósforo (P) es uno de los nutrientes esenciales para los vegetales, estando involucrado en procesos importantes dentro de su ciclo vital. A pesar de su importancia, la disponibilidad de P en los suelos de la región ha bajado considerablemente, por causa de los elevados índices de extracción a los que este nutriente se ha visto sometido, mediante elevados rendimientos y esquemas de fertilización que contemplan solamente la reposición parcial de los niveles extraídos (Sainz-Rosas *et al.*, 2011).

Si bien la forma más apropiada para mejorar la nutrición fosforada de los cultivos a largo plazo es incrementar la 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 aun en condiciones de baja fertilidad, mientras se implementan estrategias que lleven el P a niveles más convenientes. Es deseable que los aumentos de rendimientos por uso de Micorrizas, *Pseudomonas* 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, 2007).

Las micorrizas son una asociación simbiótica mutualista entre raíces de plantas superiores y ciertos grupos de hongos del suelo. Estas se han clasificado con base en su estructura, morfología y modo de infección en dos tipos principales: ectomicorrizas y endomicorrizas. Las primeras se caracterizan por una envoltura externa de células fúngicas que rodean la raíz, a menudo penetran entre la células de la epidermis y las primeras células de la corteza de la raíz, mientras que las endomicorrizas, también llamadas micorrizas arbusculares (MA), infectan la raíz e invaden varias capas de la corteza, las hifas penetran en las células y forman dentro de las mismas vesículas. Estos hongos dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, estableciendo una simbiosis ofreciendo a la planta minerales especialmente los poco móviles como el P. Además brindan otros beneficios como estimulación de sustancias promotoras del crecimiento, tolerancia a sequía, salinidad y mejoramiento de la agregación del suelo (Turk *et al.*, 2006).

Estos antecedentes justifican la evaluación conjunta del uso de endomicorrizas arbusculares y PGPR en combinación con la fertilización fosfatada para incrementar la nutrición del cultivo de maíz y con ello su rendimiento y diferentes ambientes del sur de Córdoba.

II ANTECEDENTES

En la localidad de Pergamino (Buenos Aires) durante la campaña 2005/2006, sobre un suelo Argiudol típico, Ferraris y Couretot (2009) encontraron efectos aditivos sobre el rendimiento de maíz al uso de micorrizas y fertilización, sin interacción entre ambos factores. La inoculación con micorrizas y el agregado de fertilizantes químicos lograron incrementar significativamente los rendimientos en promedio un 9 % en el caso de la inoculación, y en un rango del 13 al 21 % por el agregado de fertilizantes.

Por otro lado, en otro ensayo realizado a campo en la misma localidad durante la campaña 2008/2009, sobre un suelo clase de uso 1 de muy buena productividad, se evaluó la combinación de las micorrizas con insecticidas de suelo como curasemillas, con adecuada fertilización de NPS. En este experimento, la utilización conjunta de micorrizas e insecticidas permitió incrementar los rendimientos del cultivo de maíz, además el efecto de las micorrizas no fue afectado por la presencia del insecticida (Ferraris, *et al.*, 2009).

En la EEA INTA Marcos Juárez, un ensayo iniciado en 1996, en un suelo Hapludol típico, con una secuencia de cultivos trigo/soja; soja; maíz, se analizó el comportamiento de la actividad micorrítica natural en la absorción de fósforo bajo diferentes métodos de labranza y fertilización. Los resultados obtenidos indicaron un menor porcentaje de micorrización en las plantas con remoción del suelo. En el caso de las parcelas que se incorporaron cultivos de cobertura invernales el nivel de infección de micorrizas no superó al de siembra directa. Además se determinó una relación directa y positiva entre los valores de micorrización con la producción de biomasa aérea y con la absorción de fósforo a pesar del elevado contenido de P Bray del suelo (Faggioli y Freytes, 2008).

En otros suelos de la región pampeana, también se evaluó la relación entre P disponible y la micorrización natural en cultivos de soja, girasol y maíz. Se realizaron muestreos de raíces y suelos en lotes con diferentes niveles de dicho nutriente. El valor umbral de P disponible para la micorrización (valor a partir del cual la colonización se mantiene estable) en soja ($12,6 \text{ mg P kg suelo}^{-1}$) fue menor que el encontrado en maíz ($29,2 \text{ mg P kg suelo}^{-1}$). Esto indica que la soja tiene mayor habilidad de asociación con micorrizas en suelos con menores niveles de P, con respecto a otros cultivos (Rubio, *et al.*, 2010).

Otro estudio realizado en la misma región se analizó la respuesta en soja y girasol a la colonización micorrítica y disponibilidad de fósforo. La soja fue la especie más favorecida por la micorrización, con niveles bajo y medio de P, la misma incrementó la biomasa total, aumentó la absorción de dicho nutriente y aumentó el diámetro medio radical. En el caso del girasol en condiciones de medio y alto valor de P tuvo valores negativos de respuesta a la inoculación. Estos dos cultivos debido a su morfología radical son más eficientes en absorber P que el cultivo de maíz (Fernández *et al.*, 2010).

Hasta el presente no se han reportado en la bibliografía ensayos de inoculación con micorrizas arbusculares en ninguno de los principales cultivos que se realizan en la provincia de Córdoba.

II.1 HIPOTESIS

El uso de un compuesto comercial de endomycorriza arbuscular y PGPR en combinación con la fertilización con FDA incrementa el rendimiento de maíz y mejoran la eficiencia en el uso de fósforo del fertilizante.

II.2 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de la inoculación con un compuesto de endomycorriza arbuscular y PGPR en el cultivo de maíz, con y sin fertilización con FDA en dos ambientes del sur de Córdoba.

II.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la relación entre la disponibilidad de P del suelo y la respuesta en rendimiento al uso combinado de compuestos de endomycorriza arbuscular y PGPR con la fertilización con FDA.
- Relacionar la intercepción de la radiación durante el período de determinación del rendimiento en maíz con la determinación del número de granos ante distintas condiciones de fertilización.

III MATERIALES Y METODOS

III.1 CARACTERIZACION DEL SITIO

III.1.1 CLIMA

La región de Río Cuarto se caracteriza por tener un clima templado sub-húmedo, con precipitaciones que suelen exceder la evapotranspiración en los meses de primavera y otoño, presentando déficits puntuales en verano e invierno (Seiler *et al.*, 1995). Una temperatura media anual de 16,3°C, la temperatura media del mes más cálido (Enero) 23,5°C y la del mes más frío (Julio) 8,8°C. En lo que respecta al régimen de heladas, la primera helada ocurre el 20 de Mayo con una variación de +/- 16 días y la última helada el 15 de septiembre con una variación +/- 21 días. El período libre de heladas es de 248 días. Los vientos prevalentes son de la dirección Noreste. Clima tipo monzónico, donde la mayor concentración de lluvias ocurren en los meses de verano, con una precipitación media anual de 750 mm.

III.2 DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS

Se realizaron 2 ensayos a campo para evaluar el comportamiento de la inoculación con micorrizas arbusculares más el agregado de fertilizante fosforado y nitrógeno (N-P-K; 18-46-0) sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Los sitios fueron seleccionados principalmente por su disponibilidad de fósforo previo a la siembra, determinado mediante la técnica de Bray I, los cuales presentaron una gran variabilidad entre ambos sitios, arrojando niveles de 7,8 mg kg⁻¹ (Cuatro Vientos) y 24,5 mg kg⁻¹ (Chaján).

Los establecimientos agropecuarios donde se realizaron los ensayos se encuentran ubicados en el departamento Río Cuarto (Córdoba), uno de ellos ubicado a 80 km al suroeste de la ciudad de Río Cuarto, en cercanías de la localidad de Chaján, en el establecimiento rural María Teresa, el otro ensayo se encuentra a 25 km al oeste de Río Cuarto, zona rural de Cuatro Vientos, establecimiento llamado el Manantialito, en la campaña agrícola 2010/2011.

Los ensayos se realizaron en suelos con un relieve normal, con superficies suavemente inclinadas y onduladas, con pendientes medias a largas y mediano escurrimiento superficial (Bricchi y Degioanni, 2006).

En el experimento que se realizó en la localidad de Chaján se encontró un suelo Haplustol éntico, algo excesivamente drenado, profundo (+ de 100 cm); franco arenoso en superficie, franco arenoso en el subsuelo; moderadamente bien provisto de materia orgánica; moderada capacidad de intercambio; suavemente ondulado; moderada susceptibilidad a la erosión eólica; moderada susceptibilidad a la erosión hídrica. El segundo ensayo se realizó en cercanías de Cuatro Vientos sobre un suelo Haplustol típico, bueno a algo excesivamente

drenado; profundo (+ de 100 cm); franco arenoso en superficie; franco arenoso en el subsuelo; moderadamente bien provisto de materia orgánica; moderada susceptibilidad a la erosión hídrica; ligera susceptibilidad a la erosión eólica (Gorgas y Tassile, 2006).

El híbrido empleado en ambos ensayos fue un DK 190 MGR2, tipo simple, de ciclo intermedio, con una madurez relativa de 121 días, alta tolerancia a mal de Río Cuarto y buen comportamiento a roya común (*Puccinia sorghi*). Con respecto a las características de la planta posee una altura de 2,19 m, la altura de inserción de la espiga es de 0,97 m y 21 hojas en total. El grano es duro-colorado con un peso de 350 gramos los 1000 granos; la espiga es de forma cilíndrica/cónica con un número de hileras de 16 y 42 granos por hilera (Dekalb, 2013). En cada experimento se realizaron 4 tratamientos en bloques completos al azar con 4 repeticiones espaciales por tratamiento, con una sembradora de siembra directa Agrometal TX Mega de 16 surcos con una distancia de 0.52 cm entre surcos. El tamaño de cada parcela fue de 20 m de largo y 8,4 m de ancho (ancho de la pasada de la sembradora). El cultivo se sembró con una densidad de 75.000 plantas ha⁻¹ en ambos sitios experimentales. El cultivo antecesor en dichos sitios fue soja (*Glycine max L.*). Se realizaron aplicaciones de agroquímicos antes y durante el ciclo del cultivo para mantenerlo libre de malezas y plagas.

En el ensayo realizado en Chaján el cultivo fue sembrado el día 21 de Octubre del 2010 y fue cosechado en forma manual el día 7 de Abril del 2011, donde se recolectaron 15 espigas al azar por parcela. En Cuatro Vientos el cultivo se implantó el día 30 de Octubre del 2010 y se cosechó el día 22 de Abril del 2011, utilizando la misma técnica realizada en Chaján.

Los tratamientos con inoculación tuvieron una bordura de 6 metros para evitar contaminación. En cada sitio experimental se evaluaron los siguientes tratamientos:

A: Testigo.

B: Inoculado con endomycorriza arbuscular y PGPR a razón de 6600 ml 500 kg de semilla⁻¹.

C: Dosis de 100 kg FDA ha⁻¹ (20 kg P ha⁻¹ y 18 kg N ha⁻¹) sin inocular.

D: Tratamiento B + Tratamiento C.

La dosis de FDA seleccionada para el tratamiento C (100 kg FDA ha⁻¹) se ajustó al promedio regional del Sur de Córdoba como fue determinado por De Prada y Penna (2008). Todas las parcelas fueron refertilizadas con N según determinación del método de balance, el cual indicó aplicar 55 kg de N ha⁻¹ para un rendimiento de 9000 kg ha⁻¹. Este nutriente se aplicó como Sol UAN a razón de 150 lts ha⁻¹. (Espósito *et al.*, 2006).

El compuesto empleado como inoculante es a base de micorrizas arbusculares. La composición consiste en cepas de *Glomus*, *Gigaspora* y *Scutellospora*, aisladas de raíces de soja y maíz de plantas obtenidas de la zona centro-norte argentino; una solución de hormonas vegetales (citocinas, auxinas, giberelinas), obtenidas de fuentes naturales, cepas de *Rhizobium* específicas, *Azospirillum*, *Pseudomonas* y demás bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y solución de roca fosfórica y micronutrientes en forma de quelatos y con un corrector de pH a base de fosfatos de potasio.

Las cepas fueron seleccionadas por su alto poder infectivo y actividad fosfatásica pH (ácido y alcalino), que permiten la transformación del fósforo que se encuentra en los suelos en forma no disponible (fosfato tricalcico, roca fosfórica) en fósforo asimilable por la planta.

Estos hongos establecen una simbiosis con la planta ya que se alimenta de los carbohidratos de la misma y le ofrece fósforo asimilable, agua, zinc y otros elementos del suelo. Las raíces incrementan su permeabilidad a los solutos y el agua ya que las hifas que las envuelven aumentan la superficie radicular y los sistemas enzimáticos del hongo favorecen la solubilidad y transporte de solutos (Mycophos, 2013).

III.3 DETERMINACIONES REALIZADAS

III.2.1 A nivel de suelo

- Se tomaron muestras distribuidas aleatoriamente con un barreno a una profundidad de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm respectivamente al momento de la siembra, las mismas fueron analizadas por el laboratorio Suelo Fértil de ACA Pergamino, en el cual se determinó fósforo disponible (P) a través del método Bray y Kurtz; materia orgánica (MO) (Walkley Black); nitrógeno de nitrato (N-NO₃) (Ac. Fenoldisulfónico); azufre de sulfato (S-SO₄) (turbidimetría); pH (suelo/agua: 1/2.5); conductividad eléctrica (CE) (suelo/agua: 1/2.5); calcio (CA), magnesio (Mg), potasio (K), a través del método (acetato de amonio 1N, lectura con espectrofotómetro de absorción/emisión atómica); sodio (Na), porcentaje de sodio intercambiable (cálculo); zinc (Zn), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) método de extracción con DTPA-lectura con espectrofotómetro de absorción atómica; boro (B) (acetato de amonio azometina-H (colorimétrico), (Laboratorio Suelo Fertil, 2013) . Los resultados obtenidos del laboratorio se observan en las tablas 1 y 2, las cuales describen la disponibilidad de macro y micro nutrientes, pH, porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en los primeros 20 cm del perfil, excepto nitrógeno de nitratos (N-NO₃) y azufre de sulfatos (S-SO₄) que se analizó de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm. Comparando ambos suelos se observó

que a nivel nutricional no existen grandes diferencias, excepto en la disponibilidad de fósforo (P), siendo en el suelo de Chaján 24,5 mg kg⁻¹ en los primeros 20 cm y en Cuatro Vientos 7.8 mg kg⁻¹, respectivamente. En ambos sitios los suelos están mal provistos de N-NO₃, ya que el nivel crítico para dicho nutriente en maíz es de alrededor de 17 mg kg⁻¹, con respecto al (P) el suelo de Chaján está bien provisto y el de Cuatro Vientos no, ya que el nivel crítico de dicho elemento es de 15 mg kg⁻¹. Estos sitios son similares tanto en textura como estructura, aptos para la agricultura, aunque se encuentran limitados por el clima, baja retención de humedad y susceptibilidad a la erosión eólica e hídrica.

Tabla 1. Análisis de suelo al momento de la siembra en el ensayo de Chajan.

Prof cm.	P mg kg ⁻¹	M.O %	N-NO3 mg kg ⁻¹	S-SO4 mg kg ⁻¹	pH	Ca Meq/100g	Mg Meq/100g	K Meq/100g	Na Meq/100g	PSI	Zn mg kg ⁻¹	B mg kg ⁻¹
0-20	24.5	2.1	12.1	4.1	6.2	7.1	1.98	2.31	0.31	2.65	1.2	0.4
20-40	-	-	10.8	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-
40-60	-	-	9.1	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2. Análisis de suelo al momento de la siembra en el ensayo de Cuatro Vientos

Prof cm.	P mg kg ⁻¹	M.O %	N-NO3 mg kg ⁻¹	S-SO4 mg kg ⁻¹	pH	Ca Meq/100g	Mg Meq/100g	K Meq/100g	Na Meq/100g	PSI	Zn mg kg ⁻¹	B mg kg ⁻¹
0-20	7.8	1.7	14.5	4.0	5.9	6.2	1.52	1.94	0.33	3.3	0.8	0.8
20-40	-	-	10.6	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-
40-60	-	-	7.2	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-

III.2.1 A nivel de cultivo

- A. **Fenología del cultivo:** Se determinó la fecha de ocurrencia de los estados fenológicos Ve, V13, R3 y R6 según Ritchie y Hanway (1997). Esta escala utiliza caracteres morfológicos externos (macroscópicos). En ella se pueden distinguir 2 grandes períodos, el vegetativo y el reproductivo. El primero se subdivide en estadios 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 período reproductivo subdividido en estadios identificados con la letra R y un subíndice, comienza con la emergencia de los estigmas (R_1) y finaliza con la madurez fisiológica de los granos (R_6). Las subdivisiones del período reproductivo corresponden a diferentes momentos del llenado de granos. En la tabla 3 y 4, se observan los estadios fenológicos con sus respectivas fechas de ocurrencia. En el sitio experimental ubicado en la localidad de Chaján el híbrido cumplió su ciclo en 130 días (siembra- R_6), en Cuatro Vientos el ciclo del mismo duró 126 días. En Chaján el periodo desde emergencia a V_{13} tuvo una duración de 55 días, para dicho periodo en la localidad de Cuatro Vientos fue de 54 días, con respecto al periodo comprendido entre R_3 y R_6 no se observaron diferencias importantes en días en ambos sitios, en Chaján fue de 39 días y en Cuatro Vientos 36 días. El híbrido DK 190 MGRR2 posee una madurez relativa de 121 días (valor obtenido de la zona de Venado Tuerto, Santa Fe); en este caso en ambos sitios hubo un alargamiento del ciclo, las diferencias se acondicionan a las menores temperaturas del sur de Córdoba principalmente las nocturnas.

Tabla 3. Fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos del híbrido DK 190 MGRR2, en Chaján.

Estadios	Fecha	Duración Del Período (Días)	Días Acumulados
Siembra	21-10-10	0	0
Emergencia	29-10-10	8	8
V_{13}	15-12-10	47	55
R_3	20-01-11	36	91
R_6	28-02-11	39	130

Tabla 4. Fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos del híbrido DK 190 MGRR2, en Cuatro Vientos.

Estadios	Fecha	Duración Del Período (Días)	Días Acumulados
Siembra	30-10-10	0	0
Emergencia	8-11-10	9	9
V_{13}	23-12-10	45	54
R_3	28-01-11	36	90
R_6	05-03-11	36	126

B. Intercepción de la radiación (IR): Se midió en los estadios fenológicos (V_{13} y R_3). Se utilizó una cámara fotográfica digital, las fotografías fueron tomadas debajo del dosel del cultivo en forma transversal a las líneas de siembra y enfocando a cielo abierto, este procedimiento se llevo a cabo en cada uno de los tratamientos, tomando 4 fotos en cada uno de ellos. Las fotografías tomadas fueron analizadas mediante el programa SisCob V 1.0, el cual es una herramienta que permite calcular la cobertura de manera sencilla y eficaz. El programa se basa en una lógica muy sencilla, clasifica las imágenes en base a 1 o más patrones, en este caso se utilizaron 2 patrones, uno de ellos fue “cielo abierto” y el otro “follaje”, una vez determinado los patrones se selecciona un color para cada uno de los mismos y de esta forma la imagen procesada tendrá los colores seleccionados para cada patrón, creado estos últimos se procesa una imagen. Luego se crea una red, la cual es una asociación de patrones previamente ingresados que deseamos que el programa reconozca en una imagen, esta debe ser bien nítida y no presentar por ejemplo rayos solares que interfieran con el lente de la cámara y nubosidad, de lo contrario se estaría alterando los resultados arrojados por el programa ya sea sub o sobreestimando. Por último se clasifica la imagen cargada y el programa arroja un resultado, en este caso el porcentaje de cobertura (follaje) y el porcentaje de “cielo abierto”, dicha imagen es guardada en la misma carpeta donde se encuentra la imagen original. Una vez creados los patrones y relacionados para una imagen, se pueden clasificar lotes de muchas imágenes en forma automática.

C. Rendimiento: la producción de granos del maíz, se determinó al 14.5 % de humedad y se evaluaron los componentes del rendimiento, número de granos por superficie y peso de mil granos. La cosecha fue manual extrayéndose 4 muestras de 3 metros lineales de surco por tratamiento y repetición, la misma se realizo 15 días posteriores a R6, en la localidad de Chaján el día 15 de Marzo del 2011 y en Cuatro Vientos el día 20 de Marzo del 2011. Las espigas recolectadas de cada tratamiento fueron llevadas a laboratorio, se desgranaron con trilladora estática y se calculó el peso de las mismas, el peso de los mil granos, la relación marlo/grano, el porcentaje de humedad con su posterior corrección de humedad al 14,5 %, datos necesarios para calcular el rendimiento de cada tratamiento.

Todos los resultados fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza y las medias fueron separadas mediante el test LSD de Fisher. El procesamiento estadístico se realizó mediante el software INFOSTAT (Di Rienzo *et. al*, 2013).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1. RESULTADOS EN LA LOCALIDAD DE CHAJÁN

En la tabla 5 y 6 se resumen los resultados del análisis estadístico de la intercepción de la radiación en estado fenológico V₁₃ y R₃, obtenidos mediante el programa SisCob V1.0.

Tabla 5. Intercepción de la radiación en V₁₃. Localidad Chaján. Campaña 2010-2011.

Tratamientos	Cobertura en (%)
Testigo	82,14 a
FDA 100	81,10 a
Inoculante	79,78 a
FDA 100 + Inoculante	79,53 a
DMS	5,95
Valor p	0,7996
CV (%)	10,42

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

Tabla 6. Intercepción de la radiación en R₃. Localidad de Chaján. Campaña 2010-2011.

Tratamientos	Cobertura en (%)
Testigo	70,16 a
FDA 100	70,64 a
Inoculante	70,07 a
FDA 100 + Inoculante	73,21 a
DMS	4,34
Valor p	0,431
CV (%)	8,63

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

Los resultados obtenidos estadísticamente no muestran diferencias significativas en las medias de los distintos tratamientos con respecto a la intercepción de la radiación. Se observa que los tratamientos fertilizados y fertilizados con inoculante menor variación de la

cobertura expresada en porcentaje con respecto al testigo durante el periodo fenológico V₁₃ y R₃.

En la tabla 7, se observan los resultados obtenidos del análisis estadístico de rendimiento en kilogramos por hectárea, número de granos por metro cuadrado y peso de los 1000 granos, obtenidos en el ensayo realizado en Chaján.

Tabla 7. Rendimiento (kg ha⁻¹) y componentes directos. Ensayo de Chaján. Campaña 2010-2011.

Tratamientos	Rendimiento grano (kg ha⁻¹)	Nº de granos/m²	Peso 1000 granos (gramos)
Testigo	6938 a	2278,31 a	303,56 a
Inoculante	7986 b	2546,31 b	313,51 a
FDA 100	8094 b	2586,56 b	312,68 a
FDA 100 + Inoculante	8169 b	2669,06 b	306,28 a
DMS	798,34	235,67	10,56
Valor p	0,0096	0,0103	0,1780
CV (%)	14,45	13,19	4,82

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

El rendimiento promedio del ensayo fue de 7.796,53 kg ha⁻¹. El tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento fue el fertilizado con fosfato diamónico más el agregado de inoculante, diferenciándose estadísticamente del testigo en 1.230,81 kg ha⁻¹. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos FDA 100 y FDA 100 e Inoculado con fosfoactiv. El testigo si se diferenció de la media de todos los restantes tratamientos, cuyo rendimiento fue un 15,06% menos que el tratamiento que más rindió.

Estadísticamente tuvo el mismo efecto la fertilización con FDA y la inoculación sin fertilizante, esta última obtuvo un rendimiento de 1047,69 kg ha⁻¹ más que el testigo.

Con respecto al número de granos m⁻² también se encontraron diferencias significativas con respecto al testigo, pero no se detectaron entre los tratamientos inoculados y fertilizados. El tratamiento fertilizado más el inoculante presentó 390 granos m⁻² más que el testigo. En el caso del peso de los mil granos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

En la figura A anexo VII, se observan los rendimientos de los respectivos tratamientos realizados en la localidad de Chaján. Los resultados corresponden al promedio de cada uno de los tratamientos, los cuales fueron calculados en laboratorio utilizando el peso de las espigas, peso de 1000 granos, relación marlo/grano y corrección de humedad al 14,5%. En la figura el eje de la ordenadas (Y) corresponde al rendimiento de granos en kg

ha⁻¹ y en el eje de las abscisas (X) los distintos tratamientos; fosfato-di amónico 100 kg ha⁻¹ (FDA 100), fosfato-di amónico 100 kg ha⁻¹ mas el agregado de inoculante Fosfoactiv (FDA 100 + Inoc.), inoculante Fosfoactiv y testigo.

IV.2. RESULTADOS EN LA LOCALIDAD DE CUATRO VIENTOS

En la tabla 8 y 9 se resumen los resultados de la intercepción de la radiación en estado fenológico V₁₃ y R₃ respectivamente, obtenidos mediante el programa SisCob V1.0.

Tabla 8. Intercepción de la radiación en V₁₃. Localidad de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011

Tratamientos	Cobertura en (%)
Testigo	64,50 c
FDA 100	70,94 a b
Inoculante	68,63 b
FDA 100 + Inoculante	72,81 a
DMS	2,92
Valor p	0,0001
CV (%)	5,97

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

Tabla 9. Intercepción de la radiación en R₃. Localidad de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011

Tratamientos	Cobertura en (%)
FDA 100 + Inoculante	84,62 a
FDA 100	78,07 b
Inoculante	75,79 b c
Testigo	72,31 c
DMS	3,695
Valor p	0,0001
CV (%)	6,72

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

Los resultados analizados estadísticamente muestran diferencias significativas en las medias de los distintos tratamientos. El mayor porcentaje de cobertura lo logró el tratamiento fertilizado con inoculante cuyo valor fue de 84,62%, diferenciándose estadísticamente de todos los demás tratamientos. La parcela fertilizada sin inoculante no presentó diferencias con respecto al tratamiento inoculado, a su vez este último no presentó diferencias con respecto al testigo, el cual obtuvo un porcentaje de 72,31%. Los porcentajes más altos de cobertura se lograron con fertilizante y agregado de inoculante, los porcentajes con valores medios se obtuvieron en las parcelas fertilizadas sin inoculante y las parcelas inoculadas sin fertilizar y el testigo se ubicó en los niveles más bajos de cobertura, durante el período fenológico.

En la tabla 10, se observan los resultados de rendimiento en kilogramos por hectárea, número de granos por metro cuadrado y peso de los mil granos.

Tabla 10. Rendimiento $kg\ ha^{-1}$ y componentes directos. Ensayo de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011.

Tratamientos	Rend. grano ($kg\ ha^{-1}$)	Nº de granos/m^2	Peso 1000 granos
Testigo	8882,61 a	2907,25 a	306,07 b
Inoculante	9631,94 b	3165,00 b	305,03 b
FDA 100	9989,56 b	3419,94 c	296,51 a
FDA 100 + Inoculante	9914,94 b	3348,19 c	292,63 a
DMS	415,00	175,42	8,09
Valor p	0,0001	0,0001	0,0051
CV (%)	6,10	7,71	3,81

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

El rendimiento promedio del ensayo fue de 9.604,76 kg/ha. El tratamiento de mayor rendimiento fue el fertilizado con 100 $kg\ ha^{-1}$ de FDA, observándose en orden decreciente de rendimiento el fertilizado con inoculante, el fertilizado sin inoculante, el inoculado y el testigo, este último se diferenció estadísticamente del resto de los tratamientos pero no se observan diferencias significativas entre los 3 primeros tratamientos. La otra de las variables analizadas (granos/ m^2) tuvo una tendencia similar que la variable rendimiento, excepto que el tratamiento inoculado se diferencia del testigo con un incremento de 258 granos/ m^2 y se diferencia de los otros dos tratamientos (FDA; FDA con inoculante) en 255 y 183 granos/ m^2 menos que ambos respectivamente. Por último el peso de los 1000 granos en los tratamientos

de mayor rendimiento se diferenciaron estadísticamente con respecto al inoculado y el testigo.

En la figura B anexo VII, se observan los rendimientos de los respectivos tratamientos realizados en la localidad de Cuatro Vientos.

El crecimiento de los cultivos depende de la cantidad de radiación solar interceptada y de la eficiencia con que dicha radiación es utilizada para producir biomasa. Algunos autores observaron que en el cultivo de maíz la fertilización fosforada determinó incrementos en la interceptación de la radiación solar y no en la eficiencia de conversión de dicha radiación, además la fertilización fosforada incrementó significativamente el número de granos por unidad de superficie, aumentó la tasa de crecimiento durante el período crítico, dicho aumento se produjo como efecto de una mayor radiación interceptada acumulada, pero dichos tratamientos no afectaron la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) (Prystupa *et al.*, 2005).

Una buena nutrición mineral es necesaria para que los cultivos alcancen un óptimo crecimiento y altos rendimientos. Cuando los requerimientos nutricionales no son satisfechos, se resiente principalmente el área foliar y la eficiencia fotosintética, por lo que la tasa de crecimiento del cultivo se reduce. Un buen crecimiento de las raíces, mayor temperatura del suelo y buena disponibilidad hídrica permiten maximizar la absorción de fósforo (P). Una buena disponibilidad nutricional, especialmente durante los momentos en que los nutrientes son requeridos en altas cantidades posibilita un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa. Esto asegura un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la determinación del rendimiento (Andrade *et al.*, 2002), es posible que se haya modificado la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), ya que en ambas localidades los tratamientos fertilizados obtuvieron los mayores porcentajes de cobertura (etapas reproductivas) y rendimiento en grano con respecto a las parcelas no fertilizadas.

En las tablas 1.a y 1.b anexo VII se calculó la eficiencia en el uso del fósforo (P), para el ensayo realizado en la localidad de Chaján. El cálculo del mismo se realizó tomando el rendimiento promedio del tratamiento fertilizado con fosfato diamónico a razón de 100 kg ha⁻¹ (FDA 100), y el rendimiento promedio del tratamiento testigo de cada bloque, el mismo procedimiento se realizó para el tratamiento fertilizado más el agregado de inoculante. La diferencia de rendimientos obtenidos se dividió por 20, el cual representa los kilogramos de fósforo elemento aplicados por hectárea, de esta manera se obtuvo la eficiencia de uso del fósforo en kg kg de P⁻¹. En las tablas 1.c y 1.d anexo VII se realizó el mismo cálculo para la localidad de Cuatro Vientos.

En las tablas 11 y 12 se observan los resultados obtenidos del análisis estadístico de la eficiencia en el uso del fósforo en kilogramos por kilogramos de fósforo aplicado, en los

tratamientos inoculados y los tratamientos con 100 kg ha⁻¹ de fósforo e inoculados para las localidades de Chaján y Cuatro Vientos respectivamente.

Tabla 11. Eficiencia en el uso del fósforo, localidad de Chaján. Campaña 2010-2011.

Tratamientos	EUP EN KG KG ⁻¹ DE P
FDA + INOCULANTE	61.54 a
INOCULANTE	57.79 a
DMS	111.68
VALOR P	0.9371
CV (%)	108.19

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

Tabla 12. Eficiencia en el uso del fósforo, localidad de Cuatro Vientos. Campaña 2010-2011.

Tratamientos	EUP EN KG KG ⁻¹ DE P
FDA + INOCULANTE	52.73 a
INOCULANTE	56.46 a
DMS	53.37
VALOR P	0.8698
CV (%)	56.50

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; En columnas letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según LSD Fisher (Infostat).

Los datos obtenidos no arrojaron diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos analizados, con respecto a la eficiencia en el uso del fósforo. La eficiencia expresada en kilogramos en ambos sitios experimentales se encontró entre 52 y 61 kg kg⁻¹ de P aplicado.

Comparando los resultados obtenidos en ambos sitios experimentales con respecto a otros ensayos realizados en campañas anteriores por otros autores y regiones como Pergamino y Marcos Juárez, se puede interpretar que se registraron resultados similares con respecto al rendimiento, ya que en el ensayo realizado en Chaján los tratamientos fertilizados con fósforo mas inoculado obtuvieron un rendimiento de un 15% más que el testigo y no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos inoculados y los fertilizados e inoculados, es decir que no se tuvo un efecto de sinergismo, estos resultados fueron similares en la localidad de Cuatro Vientos con un aumento del rendimiento del 11% con respecto al testigo. Es posible que estos aumentos de rendimientos se produzcan por una mayor

producción de materia seca, si bien la misma no fue calculada, si se analizó el porcentaje de intercepción de la radiación a través del porcentaje de cobertura del dosel, en ambos sitios y en los distintos tratamientos, en la localidad de Chaján si bien no se registraron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura, los valores más altos fueron en el tratamiento fertilizado y el fertilizado mas el inoculante, por el contrario, en Cuatro Vientos se detectaron diferencias con respecto al testigo. Esto indicaría que a mayor porcentaje de cobertura, mayor radiación interceptada acumulada, mayor tasa de crecimiento del cultivo, por lo tanto mayor rendimiento.

Se calculó y se analizó la eficiencia en el uso del fósforo (EUP) en kilogramos de rendimiento (grano) por kilogramo de nutriente aplicado en ambos sitios experimentales y en los tratamientos inoculados con Fosfoactiv y los fertilizados mas el agregado de inoculante. En Chaján, la EUP fue de 59,66 kg kg⁻¹ P y para Cuatro Vientos de 54,6 kg kg⁻¹ P, no observándose diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, es factible que estas similitudes se deban a que ambos sitios poseen suelos con textura similar, manejo con siembra directa desde hace varios años, se utilizó el mismo híbrido (Dekalb 190 MGRR2), la fecha de siembra fue similar, la densidad de siembra fue la misma en ambas localidades (75000 plantas ha⁻¹) y además meteorológicamente los registros de temperatura y radiación solar fueron semejantes.

V. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados durante esta experimentación permiten concluir que en ambos sitios evaluados se encontró respuesta a la fertilización con P y a la inoculación con un compuesto a base de endomicorriza arbuscular y PGPR, sin diferenciarse entre ambos. El empleo del inoculante no mejoró la eficiencia en el uso del fertilizante por lo que se acepta parcialmente la hipótesis planteada.

Estos ensayos deberían continuarse en futuras campañas y distintos sitios experimentales para seguir profundizando sobre la respuesta del cultivo al empleo de los productos utilizados y obtener una mayor base de datos, ya que en este trabajo no se han realizado mediciones de biomasa radicular, biomasa aérea, volumen de suelo explorado por las raíces y eficiencia en el uso de la radiación, dichas variables ayudarían a analizar más de fondo el comportamiento de la fertilización en combinación con la inoculación de micorrizas arbusculares y PGPR en la generación de rendimiento en el cultivo de maíz y la eficiencia en el uso del fósforo aplicado.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, F., A. CIRILO, S. UHART, M. OTEGUI. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. 1° ed. ED. La Barrosa. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Cap: 6. p: 184.
- BRICCHI, E., A. DEGIOANNI. 2006. Sistema suelo, su origen y propiedades. 1^{era} ed. ED. Fundación UNRC. Rio Cuarto, Argentina. 59 p.
- DE PRADA, J., J. PENNA. 2008. **Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el sur de Córdoba, Argentina.** Ediciones Instituto Nacional de Tecnología. 42-43 p.
- DEKALB. 2013. Dekalb maíz. En: <http://www.dekalb.com.ar/dekalb-maiz/>. Consultado: 20-07-13.
- DI RIENZO, J. A., F. CASANOVES, M. BALZARINI, L. GONZALES, M. TABLADA, C. ROBLEDO. Infostat versión 2013. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- ESPOSITO, G.; C. CASTILLO y R. BALBOA. 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba (Argentina). Revista de Investigación Agraria. RIA, 35(3):45-63. INTA Argentina.
- EYHERABIDE, G., L. GIORDA, A. LIVORE, J. NISI, J. TOMASO. 2009. Programa nacional cereales. En: http://inta.gov.ar/documentos/documento-base-del-programa-nacional-cereales/at_multi_download/file/documento%20base%20del%20programa%20nacional%20cereales.pdf. Consultado: 01-08-13.
- FAGGIOLI, V., G. FREYTES. 2008. Micorrización natural de maíz y su relación con la absorción de fósforo del suelo en diferentes sistemas de labranzas y fertilización. En: <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Suelos/micorrizacion10.pdf>. Consultado: 28-11-10
- FAGGIOLI, V., C. CAZORLA, A. VIGNA, M. BERTI. 2009. Fertilizantes biológicos en maíz. Ensayo de inoculación con cepas de Azospirillum brasilense y Pseudomonas fluorescens. En: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2009/09/mj-fertiliz-biologica-maiz-inoc-cepas-azospirillum-y-pseudomonas.pdf>. Consultado: 15-07-13.
- FERNANDEZ, M., C., F. GUTIERREZ BOEM, G. RUBIO. 2010. Colonización por micorrizas y disponibilidad de fósforo: respuesta en soja y girasol. **22° congreso argentino de la ciencia del suelo.** Rosario – Santa Fe, Argentina. 133 p.
- FERRARIS, G., L. COURETOT. 2006. Evaluación de la inoculación con micorrizas en maíz bajo diferentes ambientes de fertilidad. En: www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext06/micorrizas_en_maiz.pdf. Consultado: 2-12-10
- FERRARIS, G., L. COURETOT. 2007. 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. En: <http://elsitioagricola.com.pablesky.arvixevps.com/articulos/ferraris/InoculacionconPromotoresdeCrecimientoenMaiz.pdf>. Consultado : 8-11-12.

- FERRARIS, G., L. COURETOT, J. PONSÁ. 2009. Inoculación con micorrizas en maíz. Los insecticidas sobre semillas afectan su eficiencia? Campaña 2008/09. En: www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext09/maiz_micorrizas_insecticidas_tec_sem.pdf. Consultado: 2-12-10
- FYO, 2013. Campaña de maíz 2013/2014. En: http://www.fyo.com/especiales/maiz13-14/estadisticas_ar.php. Consultado: 18-10-13.
- GEAR, J. 2006. Maíz y nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. En: <http://www.maizar.org.ar/pdf/Revista%20maizar%202.pdf>. Consultado: 10-07-13.
- GORGAS, G. y J. TASSILE. 2006. *Los Suelos*. En: Recursos Naturales de la provincia de Córdoba. Agencia Córdoba ambiente, instituto nacional de tecnología agropecuaria EEA Mamfredi, Córdoba. Cap. 5. p: 240-279.
- LABORATORIO SUELO FERTIL, 2013. Determinaciones en suelos. En: http://www.suelo-fertil.com.ar/determinaciones_suelo_3.htm. Consultado: 6-11-13.
- MAGyP. 2010. Mapa principales cultivos. En: http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/agricultura/cultivos_en_la_argentina/01-mapa_principales_cultivos/index.php Consultado: 30-11-10
- MAGyP. 2010. Sistema integrado de información agropecuaria. En: <http://www.siaa.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura> Consultado: 30-11-10
- MELGAR, R., TORRES DUGGAN, M. 2006. Manejo de la fertilización en maíz. En: <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/maiz06.pdf> Consultado: 10-12-10
- MYCOPHOS, 2013. Productos. En: <http://www.mycophos.com.ar/productos.html>. Consultado: 18-03-13.
- MICCUCI, Z., M. DIAZ ZORITA. 2010. Complementariedad en la nutrición química biológica de cultivos. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario.
- PRYSTUPA P., H. FLAVIO, B. GUTIERREZ, G. CERNIK. 2005. Generación del rendimiento en un cultivo de maíz sujeto a la deficiencia del fósforo. **Informaciones Agronómicas N° 27**. Cátedra de fertilidad y fertilizantes. Facultad de Agronomía. U.B.A. Av. San Martín 4453. 9-10.
- RITCHIE W. y J. HANWAY. 1997. How a corn plant develops. Special Report N° 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames. Iowa.: 21p.
- RUBIO, G., M. FERNANDEZ, F., H., GUTIERREZ BOEM. 2010. Micorrización natural de cultivos de soja, girasol y maíz en la Región Pampeana. **22º congreso argentino de la ciencia del suelo**. Rosario – Santa Fe, Argentina. 132 p.

- SAINZ-ROZAS H., H. ECHEVERRIA y H. ANGELINI. 2011. Fósforo extractable en suelos agrícolas de las Regiones Pampeana y Extra pampeana de Argentina. **Informaciones Agronómicas N° 4**. International Plant Nutrition Institute.:14-18.
- SATORRE, E., 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura Argentina actual. Facultad de Agronomía, UBA.En:<http://www.agrotecnicounne.com.ar/biblioteca/Anexo%20-%20Satorre%20en%20colores-1.pdf>. Consultado: 15-03-13.
- SEILER, R., R. FABRICIUS , V. ROTONDO y M. VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto – 1974 / 1993. Volumen I. UNRC. 68p.
- TURK, M., T. ASSAF, K. HAMEED, A. AL-TAWAHA. 2006. Significance of mycorrhizae. **World Journal of Agricultural Sciences 2**.
- VIGLIZZO, E., F. FRANK, L. CARREÑO, E. JOBBAGY, H. PEREIRA, J. CLATT, D. PINCEN, F. RICARD. 2010. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global change biology*.

VII. ANEXOS

Figura A. Rendimientos en la localidad de Chaján, Córdoba.

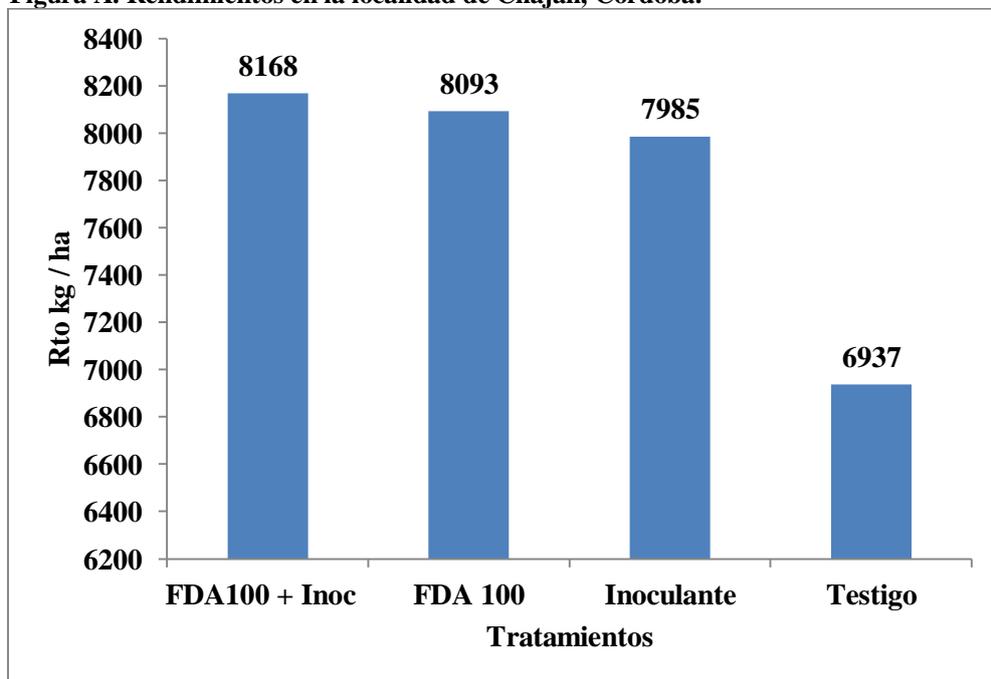


Figura B. Rendimientos en la localidad de Cuatro Vientos, Córdoba.

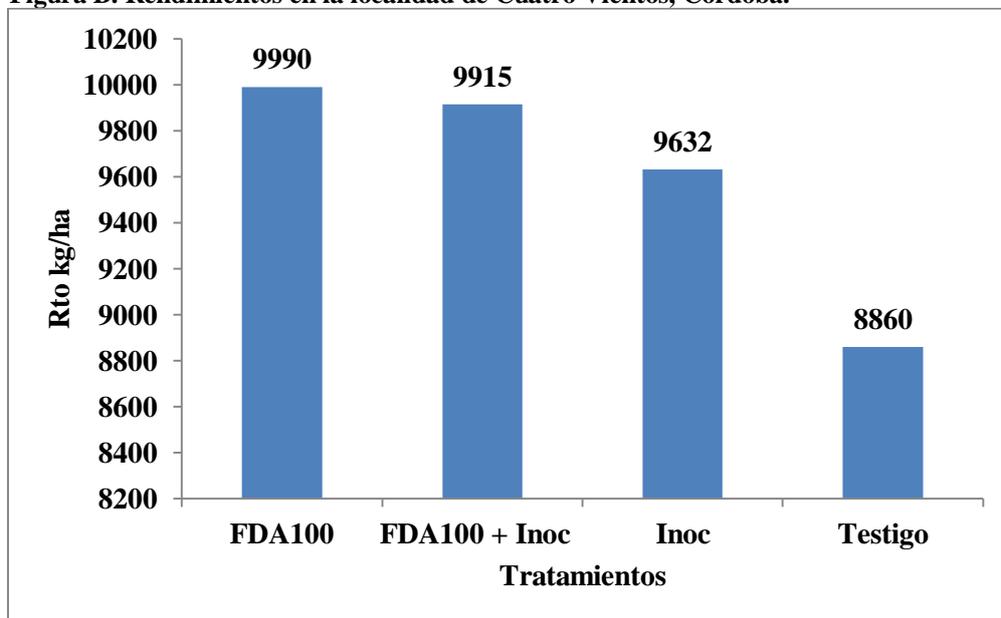


Tabla 1.a. Eficiencia en el uso de fósforo en el tratamiento con 100 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico, en Chaján.

BLOQUES	RTO.FDA 100 KG (KG HA ⁻¹)	RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	RTO FDA 100-RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	EUPF (KG KG P ⁻¹)
I	7888.5	7751.25	137.25	6.86
II	8018	8079.5	-61.5	-3.07
III	9065.75	6703	2362.75	118.13
IV	7403	5218	2185	109.25

Tabla 1.b. Eficiencia en el uso de fósforo en el tratamiento con 100 kg ha⁻¹ de FDA mas Inoculante, en Chaján.

BLOQUES	RTO.FDA 100 KG (KG HA ⁻¹) + INOCULANTE	RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	RTO FDA 100 KG HA ⁻¹ + INOCULANTE - RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	EUPF (KG KG P ⁻¹)
I	8451.5	7751.25	700.25	35.01
II	8349.5	8079.5	270	13.5
III	7529	6703	826	41.3
IV	8345	5218	3127	156.35

Tabla 1.c. Eficiencia en el uso de fósforo, tratamiento FDA 100 kg ha⁻¹, en Cuatro Vientos.

BLOQUES	RTO.FDA 100 KG (KG HA ⁻¹) + INOCULANTE	RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	RTO FDA 100 KG HA ⁻¹ + INOCULANTE - RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	EUPF (KG KG P ⁻¹)
I	9534	8799	735	36.75
II	10250.25	8712.75	1537.5	76.87
III	9479.75	9237.25	242.5	12.12
IV	10106.5	8692	2002.25	100.11

Tabla 1.d. Eficiencia en el uso de fósforo, tratamiento FDA 100 kg ha⁻¹ + inoculante, Cuatro Vientos.

BLOQUES	RTO.FDA 100 KG (KG HA ⁻¹) + INOCULANTE	RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	RTO FDA 100 KG HA ⁻¹ + INOCULANTE -RTO. TESTIGO (KG HA ⁻¹)	EUPF (KG KG P ⁻¹)
I	9698.25	8799	899.25	44.96
II	10010.5	8712.75	1297.75	64.89
III	9844.5	9237.25	607.25	30.36
IV	10106.5	8692	1414.5	70.72