



Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Agronomía y Veterinaria

*Trabajo Final Presentado para
Optar al Grado de Ingeniero Agrónomo*

**“Evaluación de *Azospirillum brasilense* sobre el cultivo de
maíz bajo diferentes condiciones de riego y dosis de
fertilizante”**

Alumno
Sartori, Alejandro Esteban
DNI: 31123775

Director
Dra. Alicia Thuar

Co-director
Dr. Ing. Raúl Crespi

Río Cuarto – Córdoba
Diciembre de 2008

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título Del Trabajo Final: “Evaluación de *Azospirillum brasilense* sobre el cultivo de maíz bajo diferentes condiciones de riego y dosis de fertilizante”

Autor: Sartori, Alejandro Esteban

Director: Dra. Alicia Thuar

Co-Director: Dr. Ing. Raúl Crespi

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

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que compartieron conmigo esta vivencia y en especial a mi familia, a mis padres, por brindarme la posibilidad de estudiar y de acceder hoy al tan anhelado título de Ingeniero Agrónomo, a mis hermanos, a mis queridos abuelos, a Jimena, y a todos mis amigos, en especial a aquellos a quienes conocí en esta universidad y con los cuales compartí tantos momentos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo, a mi directora Doctora Alicia Thuar, a mi co-director Doctor Raúl Crespi, al Ingeniero Agrónomo Carlos Castillo por los aportes realizados, a los docentes de la Cátedra de Sistema Suelo por la ayuda recibida, a los no docentes quienes colaboraron durante la realización de la experiencia, a Jimena Verstraete, Edgardo y Gerardo Salvay por la cooperación brindada durante el ensayo.

ÍNDICE DE TEXTO

	Pág.
CARATULA-----	I
CERTIFICADO DE APROBACIÓN -----	II
DEDICATORIA -----	III
AGRADECIMIENTOS -----	IV
INDICE DE TEXTO-----	V
INDICE DE TABLAS -----	VI
INDICE DE FIGURAS -----	VII
RESUMEN-----	IX
SUMMARY -----	X
INTRODUCCION -----	1
ANTECEDENTES -----	6
HIPOTESIS -----	8
OBJETIVOS -----	8
MATERIALES Y METODOS -----	9
CARACTERIZACION EDAFOCLIMATICA -----	9
RECURSO HIDRICO -----	13
TRATAMIENTO DEL AGUA PARA RIEGO -----	13
SUPERFICIE DEL ENSAYO -----	15
ENSAYO A CAMPO -----	15
APLICACIÓN DE INOCULANTE -----	17
APLICACIÓN DE FERTILIZANTE -----	18
CONTROL DE MALEZAS -----	18
ANALISIS DE MUESTRAS -----	18
DISEÑO EXPERIMENTAL -----	18
RESULTADO Y DISCUSIÓN -----	20

PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA -----	20
MATERIA SECA A LOS 60 DÍAS POST-SIEMBRA -----	20
MATERIA SECA A LOS 100 DÍAS POST-SIEMBRA-----	22
DETERMINACION DEL RENDIMIENTO -----	25
FACTOR INOCULANTE -----	25
FACTOR APORTE HIDRICO-----	29
FACTOR FERTILIZANTE -----	31
INTERACCION DE LOS TRES FACTORES -----	32
CALCULO DE INFILTRACIÓN DEL SUELO-----	35
EVOLUCION HIDRICA DEL PERFIL DEL SUELO -----	38
CONCLUSION-----	39
BIBLIOGRAFIA -----	40
ANEXOS -----	45

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Análisis físico-químico del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	11
Tabla 2: Características físicas del perfil del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	12
Tabla 3: Labores culturales y actividades realizadas durante el ensayo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	16
Tabla 4: Tratamientos realizados en el ensayo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	19
Tabla 5: Materia seca a los 60 días post-siembra (kg.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	20
Tabla 6: Materia seca a los 100 días post-siembra (Kg.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	22
Tabla 7: Biomasa aérea a los 100 días en secano con y sin <i>Azospirillum</i> . UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	23
Tabla 8: <i>Azospirillum</i> , aportes hídrico, fertilizante y sus interacciones para el rendimiento. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	25
Tabla 9: <i>Azospirillum</i> y sus interacciones con aportes hídrico y fertilizante para rendimiento (qq.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	26

Tabla 10: Aporte hídrico y su interacción con fertilizante para el rendimiento (qq.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	29
Tabla 11: Fertilizante de rendimiento (qq.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	31
Tabla 12: <i>Azospirillum</i> y aportes hídricos sin el agregado de fertilizante en rendimiento (qq.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	33
Tabla 13: Precipitaciones medias mensuales desde el año 1995 al año 2006. Río Cuarto-Córdoba.-----	45
Tabla 14: Temperaturas medias mensuales desde el año 1995 al año 2006. Río Cuarto-Córdoba. -----	45
Tabla 15. Temperaturas medias mensuales (°C) y precipitaciones mensuales (mm) para el periodo mayo 2006 – abril 2007. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	45
Tabla 16: Balance Hidrológico para la ciudad de Río Cuarto. Periodo abril/2006-abril/2007. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	46
Tabla 17: Determinaciones analíticas del agua residual. UNRC. Río Cuarto Córdoba -----	47
Tabla 18: Rendimientos obtenidos en el ensayo del ciclo 2006/2007. -----	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Imagen de la bacteria <i>Azospirillum brasilense</i> .-----	4
Figura 2: Ubicación geográfica del ensayo. REU. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	9
Figura 3: Distribución de las temperaturas medias anuales y de las precipitaciones anuales desde el año 1984 al año 2006 para Río Cuarto. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	10
Figura 4: Precipitaciones y temperaturas medias mensuales desde el año 1995 al año 2006. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	10
Figura 5: Distribución mensual de las temperaturas medias mensuales (°C) y de las precipitaciones mensuales (mm) durante el periodo mayo 2006 – abril 2007. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	11
Figura 6: Planta experimental del primer tratamiento al agua residual. UNRC. Río Cuarto-Córdoba.-----	13
Figura 7: Reactor biológico. UNRC. Río Cuarto-Córdoba. -----	14
Figura 8: Laguna de maduración. UNRC. Río Cuarto-Córdoba. -----	14
Figura 9: Croquis del ensayo con sus medidas y distintos tratamientos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	15
Figura 10: Sistema de riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	17

Figura 11: Biomasa radical y aérea a los 60 días post-siembra con distintos aportes hídricos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	21
Figura 12: Biomasa total a los 60 días post-siembra (kg.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	22
Figura 13: Biomasa radical y aérea a los 100 días post-siembra con distintos aportes hídricos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	24
Figura 14: Biomasa total a los 100 días post-siembra (kg.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	24
Figura 15: Rendimientos obtenidos con distintos aportes hídricos con y sin <i>Azospirillum</i> . UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	27
Figura 16: Rendimientos obtenidos con distintas dosis de fertilizante con y sin <i>Azospirillum</i> . UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	28
Figura 17: Rendimientos obtenidos con distintos aportes hídricos y dosis de fertilizante. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	30
Figura 18: Rendimientos con la variable fertilizante. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	32
Figura 19: Rendimientos con la interacción de azospirillum y aporte hídrico sin el agregado de fertilizantes (kg.ha ⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	34
Figura 20: Lamina acumulada en el tiempo en el estadio R1. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. --	35
Figura 21: Velocidad de infiltración de agua en el suelo en el estadio R1. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	35
Figura 22: Lamina acumulada en el tiempo del 31/01/07, Estadio R3. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	36
Figura 23: Velocidad de infiltración de agua en el suelo del 31/01/07 Estadio, R3. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.-----	36
Figura 24: Lamina acumulada en el tiempo del 19/02/07, Estadio R4. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	36
Figura 25: Velocidad de infiltración de agua en el suelo del 19/02/07 Estadio, R4. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	37
Figura 26: Evolución hídrica del perfil del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	38
Figura 27: Balance hidrológico Periodo abril/06-abril/07. UNRC. Río Cuarto Córdoba. -----	46
Figura 28: Riego con aspersionador móvil antes de la siembra. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	46
Figura 29: Rastrojo del cultivo antecesor. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	47
Figura 30: Obtención de muestras para el calculo de la Densidad Aparente en cuatro profundidades diferentes. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. -----	48

RESUMEN

El incremento de la producción agrícola, esta condicionada por la falta de lluvias y fertilidad de los suelos. El uso de fertilizantes comerciales o la implementación de la tecnología de riego implican un costo que dificulta la actividad según la región. La inoculación con Bacterias Promotoras del Crecimiento (PGPRs) puede ser una metodología razonable de adoptar. *Azospirillum brasilense*, una PGPR capaz de asociarse a numerosos cultivos generando un incremento de la biomasa radical con la consecuencia de un mayor rendimiento. Otra alternativa, es el uso de aguas residuales tratadas para riego, que va a proveerle al cultivo además del agua, los nutrientes necesarios para la planta. Con el objetivo de analizar la respuesta del cultivo de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasilense*, distintos aportes hídricos y dosis de fertilizante, se realizó un ensayo con los siguientes tratamientos: inoculados y sin inocular con *A. brasilense*; secano, riego con agua de perforación y agua residual tratada, y tres dosis de fertilizante (sin fertilizante, 280 l.ha⁻¹, 400 l.ha⁻¹). Mediante el riego se aplicó una lámina neta de 101 mm. Se evaluó materia seca a los 60 y 100 días de la siembra, y rendimiento. Se encontraron diferencias significativas para los tratamientos con *A. brasilense*, en biomasa aérea a los 100 días, y en rendimiento cuando no se agregan fertilizantes comerciales. La respuesta promedio es del 7% en rendimiento. En los distintos aportes hídricos, se encontraron diferencias significativas en producción de materia seca y en rendimiento. El riego con agua residual tratada sin fertilizantes, superó en rendimiento al testigo en un 75% de la producción, y en un 41% al riego con agua limpia. Para las distintas dosis de fertilizante, hubo diferencias significativas, obteniendo incrementos de producción en un 13% y 24% cuando se cubre el déficit de nitrógeno del suelo en un 70% y 100% con UAN (Fertilizante líquido nitrogenado).

PALABRAS CLAVES: Maíz, inoculación, *Azospirillum brasilense*, agua residual tratada, fertilización.

SUMMARY

The increase in production agriculture, this conditioned by the lack of rainfall and soil fertility. The use of commercial fertilizers or the implementation of irrigation technology involves a cost that difficulty the activity by region. The inoculation with bacteria growth promoters (PGPRs) may be a reasonable methodology adopted. *Azospirillum brasilense*, a PGPR able to be associated with many crops to generate a radical increase in biomass as a result of increased performance. Another alternative is the use of treated wastewater for irrigation, which will also provide for the cultivation of water, nutrients for the plant. With the aim of analyzing the response of corn to inoculation with *Azospirillum brasilense*, different contributions dose of fertilizer and water, a trial was carried out with the following treatments: inoculated and non inoculated with *A. brasilense*; rainfed, irrigated with water drilling and treated wastewater, and three doses of fertilizer (no fertilizer, 280 l.ha⁻¹, 400 l.ha⁻¹). Irrigation is applied through a sheet net of 101 mm. We evaluated the dry at 60 and 100 days of sowing and yield. Significant differences were found for treatments with *A. brasilense* in biomass to 100 days, and in performance when no commercial fertilizers are added. The record average of 7% is in return. In the various inputs water, there were significant differences in dry matter production and yield. Irrigation with treated wastewater without fertilizers, surpassed performance in the witness by 75% of production, and by 41% with clean water for irrigation. For the different doses of fertilizer, there were significant differences, obtaining increases production by 13% and 24% when the deficit is covered by soil nitrogen by 70% and 100% UAN (liquid nitrogen fertilizer).

KEY WORDS: Corn, inoculation, *Azospirillum brasilense*, treated wastewater, fertilization.

INTRODUCCION

A partir del siglo XVII, los grandes avances del conocimiento científico, la agricultura, la industria, la medicina y la organización social hicieron posible que la población creciera de forma considerable. La población mundial se quintuplicó en 300 años (pasando de 500 millones en el año 1650 a 2500 millones de habitantes en 1950). La rápida disminución de fallecimientos en una población con altos índices de fertilidad hizo que muchos países en vía de desarrollo alcanzaran un índice de crecimiento anual superior al 3,1%, índice que duplicaría la población en veintitrés años.

Las estimaciones de las Naciones Unidas publicadas en 1990 indican que la población mundial pasara de 5300 millones de personas en 1990 a 6200 millones en el año 2000 y a 8500 millones en el 2025. Las estimaciones máximas y mínimas para el año 2025 son de 9100 millones y 7900 millones respectivamente.

Este aumento esperado en la población generará un incremento de presión sobre las tierras agrícolas. Unos de los principales objetivos internacionales es mantener la producción de alimentos al mismo nivel que el crecimiento de la población sin agotar ni destruir los recursos (Lægreid *et al*, 1999).

El crecimiento anual de la producción agrícola ha estado disminuyendo. Entre 1970 y 1990 la producción creció un 2,2 % anual, pero sólo un 1,3 % entre 1990 y 2007. Este aumento se debe, más que al incremento de la superficie cultivada, al aumento de la productividad, que aumentó un 2 % entre 1970 y 1990, pero bajó a 1,1 % entre 1990-2007 (Trostle, 2008).

Cereales como el maíz, trigo y arroz son los principales cultivos de consumo por la población mundial y otras gramíneas como el sorgo y la cebada son aprovechados para la alimentación de ganado o por la industria, a medida que pasan los años hay un incremento en la demanda de estos cultivos, por lo cual se necesita de mayores rendimientos para poder satisfacer los requerimientos de la población mundial.

Estos cultivos, al igual que todos los vegetales, requieren para su crecimiento y producción de granos, grandes cantidades de tres macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), desde la época de la llamada revolución verde, se suministraron, cada vez en mayor cantidad, en forma de fertilizantes minerales para cubrir la demanda de alimentos. Esto ha generado costos ecológicos (contaminación de ríos, lagos, lagunas y aguas subterráneas, así como la atmósfera; destrucción de la vida microbiana que se encuentra en el suelo; en el caso de los fertilizantes nitrogenados resultan ser contaminantes del medio, a través de la liberación de amoníaco y óxidos de nitrógeno.), costos económicos (al solubilizarse los fertilizantes minerales son arrastrados, lixiviados, a capas inferiores del suelo fuera del

alcance de las plantas y consecuentemente no los asimila; se pierde alrededor del 40-50 por ciento) y costos sociales (Caballero-Mellado *et al*, 2006), por lo cual se cuestiona su uso, muchas veces irracional, y resulta interesante buscar alternativas que sustituyan total o al menos parcialmente su utilización.

Una de esas alternativas, es la posibilidad de utilizar microorganismos del suelo que favorezcan la nutrición y desarrollo de las plantas para incrementar el rendimiento y mejorar la eficiencia de utilización de los fertilizantes químicos. Las bacterias que dan algún beneficio a la planta pueden formar una relación simbiótica o vivir libres en el suelo, pero cerca o dentro de las raíces de las plantas. Las bacterias benéficas que viven libres en el suelo son usualmente referidas como “rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas” o PGPR (Piao *et al*, 1992). Diferentes bacterias pueden ser consideradas PGPR, incluyendo especies de *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Acetobacter*, *Burkholderia* y *Bacillus*.

Las PGPR pueden afectar el crecimiento de la planta en forma directa o indirecta. La promoción indirecta ocurre cuando la PGPR disminuye o previene efectos deletéreos de los organismos fitopatógenos; mientras que en la promoción directa, la PGPR provee a la planta de compuestos sintetizados por ella o le facilita la captación de ciertos nutrientes del medio ambiente (Kloepper *et al*, 1980).

Entre los efectos indirectos, las bacterias PGPR producen y secretan sideróforos (éstos se unen al Fe^{+3} que está disponible en la rizosfera y como resultado previene que cualquier patógeno vecino proliferare debido a la falta de hierro. Las plantas no son dañadas por la reducción del hierro causado por la PGPR, ya que crecen con concentraciones muchos mas bajas de hierro que los microorganismos) (Caballero-Mellado *et al*, 2006; Kloepper *et al*, 1980), control de patógenos mediante antagonismo o competencia (muchas bacterias y en particular, las de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, controlan patógenos, sobre todo hongos mediante sustancias antifúngicas y en otros casos, bacterias por medio de antibióticos) (Caballero-Mellado *et al*, 2006), competencia por nutrientes y nichos ecológicos en la superficie de las raíz, y síntesis de ácido cianhídrico (O’Sullivan and O’Gara, 1992).

En cuanto a la promoción directa del crecimiento de la planta huésped, las PGPR fijan nitrógeno, sintetizan sideróforos que solubilizan y secuestran el hierro del suelo y lo proveen a la planta, sintetizan fitohormonas (como el ácido indol acético) que actúan en varias etapas del crecimiento de los vegetales generando un aumento en la superficie de la raíz y favoreciendo la absorción de nutrientes, solubilizan minerales como los fosfatos di- y tricálcicos, y sintetizan enzimas como las ACC (I-amino-ciclopropano-I-carboxilato) desaminasa (Caballero-Mellado *et al*, 2006).

Durante los últimos veinticinco años diferentes grupos de investigación de países muy diversos llevaron a cabo numerosos experimentos de inoculación con *Azospirillum*, bacteria reconocida como promotora del crecimiento de las plantas. La bacteria *Azospirillum* fue descubierta en asociación con las raíces de una planta forrajera de la familia de las gramíneas y posteriormente con el maíz y otras plantas de interés agrícola, pudiendo encontrarse libre en el suelo o en asociación con las raíces de las plantas (Burdman *et al*, 2000; Okon and Labandera-Gonzalez, 1994). Ésta bacteria, muestra un potencial para promover el crecimiento de las plantas y el incremento en el rendimiento de muchos cultivos de importancia agronómica, la mayoría cereales, como maíz, trigo, sorgo, moha (Boddey *et al*, 1986), avena, arroz, y pastos forrajeros como *Cynodon dactylon*, *Poa pratensis*, *Festuca arundinacea*, *Pennisetum spp.* y *Panicum spp.* (Caballero Mellado, 2002), en diferentes suelos y bajo condiciones climáticas diferentes. Hay registros de que la inoculación con *Azospirillum* ha logrado incrementos del 70% en el rendimiento del maíz, 17% en sorgo, y 13% en panicum (Bashan y Levanony, 1990; Mascarúa *et al*, 1994; Wani, 1990).

Se han identificado cinco especies de *Azospirillum* dentro de las cuales las de mayor importancia agronómica son *A. brasilense* (Figura 1) y *A. lipoferum*, esta última en menor medida. Se trata de bacterias Gram-negativas, con forma de vibrio o espirilos. De amplia adaptabilidad en los suelos, prolifera en condiciones de variable concentración de oxígeno y disponibilidad de nitrógeno, aunque su actividad y supervivencia es mayor en suelos arenosos, ricos en materia orgánica y con condiciones favorables para la actividad biológica del suelo, como es el caso de la siembra directa y la disponibilidad de rastrojos en superficie (Bashan, 1999).

Esta asociación se trata de una “simbiosis asociativa” y no de una verdadera simbiosis mutualista, ya que la misma induce cambios morfológicos y fisiológicos en las raíces de las plantas debido a la producción de sustancias llamadas fitohormonas (tales como los ácidos indol-3-acético, indol-3-butírico, citocininas, giberelinas) que promueven el crecimiento de las plantas estimulando el desarrollo de la raíz, aumentando su superficie y la capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo mineral (Boddey and Dobereiner, 1988; Burdman *et al*, 2000; Fallik and Okon, 1996; Okon, 1985; Burdman *et al*, 2001). Sumado a la fijación biológica del nitrógeno de la atmósfera (transformación del gas que constituye 79 por ciento de la atmósfera a formas de nitrógeno asimilables por las plantas como el amonio) pueden promover el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Galal *et al*, 2000; Burdman *et al*, 2000; Fornasero *et al*, 2001). En conclusión, se la considera un fitoestimulador potencial ya que se comprobó que solamente una cantidad pequeña del nitrógeno fijado por esta bacteria, se transfiere a la planta (Karpat *et al*, 1999).

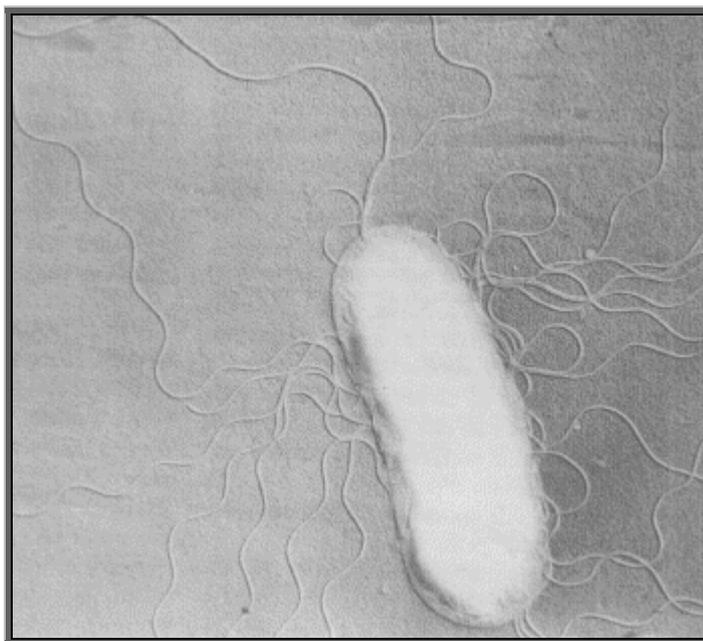


Figura 1: Imagen de la bacteria *Azospirillum brasilense*. (Prata Neves y Gomes Da Silva, 2002)

A pesar de que la inoculación con *Azospirillum* no causa incrementos en el rendimiento del 100%, ha tenido resultado en una gran diversidad de condiciones edáficas y climáticas, así como de cultivos, variedades y niveles de fertilizantes aplicados (Fuentes-Ramirez and Caballero-Mellado, 2006).

Otra alternativa es la reutilización de aguas residuales tratadas. El agua en su primer uso de abastecimiento a una población o industria, es degradada en su calidad respecto a la condición inicial y por tanto un agua residual tratada es aquella que ha sido regenerada adecuadamente por medios físicos, químicos y/o biológicos (Tanji, 1997) para proteger la salud pública y para transformarla en recursos económicos.

En muchos lugares, inclusive en la ciudad de Río Cuarto y en la UNRC, los efluentes urbanos son vertidos directamente al cauce natural de los ríos, argumentando sin pruebas científicas que los lechos de ríos constituyen un excelente dispositivo natural de filtración; sin pensar en la contaminación que se está produciendo, no sólo por el impacto en sí misma y el mal olor de la materia orgánica en descomposición, sino también por la proliferación de animales e insectos transmisores de enfermedades. Lo más destacable es el hecho de no pensar en nuestros semejantes que están captando agua contaminada para su consumo de acuíferos libres situados aguas abajo próximas a los márgenes de los ríos. Se han manifestado en reiteradas ocasiones problemas de salud (dolores de cabeza o trastornos gastrointestinales, etc.) sin saber la causa, la cual está enmascarada, pero es obvia; es el nivel de contaminación que sus conciudadanos producen aguas arriba, trasladando hacia otros el problema de residuos con una alta cuota de irresponsabilidad, pues no se miden las consecuencias (Crespi, 2003).

Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Este tratamiento comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y gas metano, este último se puede separar y quemar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas. La eficiencia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la demanda biológica de oxígeno (DBO) inicial.

El agua residual tratada, contiene nutrientes para el desarrollo de las plantas entre los que se puede mencionar cantidades apreciables de nitrógeno que constituyen un beneficio para el agricultor (Bouwer y Idelovitch, 1987). Se considera que las aguas residuales pueden tener un contenido de nitrógeno de 20-40 mg.l⁻¹, pudiendo estimar que un cultivo al que se aplica en el riego un total de 5000 m³.ha⁻¹, recibe por tanto una dosis de nitrógeno de 100-200 kg.ha⁻¹. Estas cantidades pueden cubrir en muchos casos las necesidades de nitrógeno del cultivo. El aporte de fósforo por las aguas residuales es bastante inferior al de nitrógeno (aproximadamente una cuarta parte) pero conviene tenerlo en cuenta y disminuir el aporte de fósforo en el abonado (Ramos, 1996).

Esta iniciativa requiere investigación básica, aplicada y desarrollo tecnológico tendientes a incrementar el uso de aguas residuales en agricultura (Sonesson *et al* ,1999) tratando de imitar a los países del primer mundo quienes ya tomaron conciencia de que el agua es un recurso limitado, y que es preciso reincorporar las aguas residuales al ciclo productivo; por que tratar un efluente simplemente para disminuir el impacto ambiental constituye un despropósito.

Sobre esta base, la aplicación de *Azospirillum* a los cultivos y la reutilización de aguas residuales como riego son alternativas tecnológicas viables para la producción de granos, así como una posibilidad para aquellas regiones donde no se aplicaban fertilizantes minerales o para disminuir el uso de ellos en otras regiones, y consecuentemente la contaminación ambiental, tanto por la disminución en el uso de fertilizantes sintéticos como la de arrojar el agua residual sin ningún tratamiento a los ríos.

ANTECEDENTES

▪ Toniutti A. y Daccaro S. (2001): demostraron diferencias significativas en las mediciones de longitud de raíces de las plantas de maíz inoculadas con *Azospirillum* en comparación con los tratamientos no inoculados, en la localidad de Esperanza, Departamento Las Colonias (Santa Fe), durante la campaña agrícola 2001-2002 con diferentes dosis de fertilizante (nitrógeno).

▪ Okon y Labandera-Gonzalez, (1994): determinaron que en experimentos de maíz, trigo, sorgo y cebada inoculados con *Azospirillum* tuvieron incrementos significativos en los rendimientos de grano en el rango de 5 a 30 %. Los efectos benéficos sobre el rendimiento en granos, fueron mejores y más consistentes cuando los niveles de nitrógeno aplicados fueron bajos ($40\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) o intermedios (menor a $100\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). La mejor respuesta positiva se observa en suelos ligeros del tipo arenoso.

▪ Fuentes-Ramirez y Caballero-Mellado, (2006): indican que la inoculación con cepas de *Azospirillum* seleccionadas permite reducir el uso de fertilizantes minerales en el rango de 30 a 50%.

▪ Hoffman *et al.*, (2007): evaluaron el comportamiento de *Azospirillum brasilense* en maíz, en dos campañas con stress hídrico (2005-2006), y con buena disponibilidad hídrica (2006-2007), y su interacción con el agregado de nitrógeno en V6. Los resultados observados en ambas campañas, son benéficos para el maíz inoculado con esta bacteria en el cual el efecto de *Azospirillum* no sería sólo el resultado de un cambio en la dinámica del N. En promedio produjo aumentos en los rendimientos para los ensayos inoculados del 17 y 15% para el ambiente con y sin stress hídrico llegando a tener incrementos de hasta el 29 y 23% con las mayores dosis de fertilizantes nitrogenado.

▪ Ramos *et al.*, (1989); Amorós *et al.*, (1989): en estudios utilizando aguas residuales compararon la producción y calidad de la uva de mesa cuando se regaba con agua normal o con agua residual (diluida al 50% con agua normal). Los resultados indicaron que el riego con agua residual generó producciones ligeramente superiores al riego con agua normal; no se observó ningún efecto negativo sobre la calidad de la uva en el riego con agua residual. Tampoco se detectó la presencia de microorganismos patógenos presentes en el agua residual en la uva regada con estas aguas.

▪ Cerezo *et al.*, (1995): estudiaron el efecto del riego con aguas residuales en naranjos jóvenes. Después de tres años de riego con estas aguas, las diferencias del contenido foliar de N, P y K fueron pequeñas cuando se compararon con las obtenidas con riego con agua subterránea, y no se observaron problemas de fitotoxicidad por Na, Cl y B.

▪ Giachero y Thuar, (2004): evaluaron la productividad del cultivo de ajo (*Allium sativum*. L), utilizando las dos alternativas de forma conjunta, el mismo se hizo bajo riego

con agua de distintas procedencias, en asociación con *Azospirillum brasilense*. Las evaluaciones durante el crecimiento del cultivo indicaron que la inoculación determinó diferencias significativas con respecto al testigo (riego con agua limpia y sin inocular). El riego con efluentes aumentó la proporción de bulbos bien formados; mientras que el riego con efluentes junto a la inoculación incrementaron el peso y el calibre de los bulbos bien formados; los factores analizados no afectaron el número de bulbillos en los bulbos de ajo. Los análisis microbiológicos indicaron ausencia de *Escherichia coli* y de *Salmonella*.

▪ Crespi *et al*,(2005): determinaron la producción de oleaginosas bajo riego:

-colza (*Brassica napus L.*): Se logró un rendimiento promedio de 3222.4 kg.ha⁻¹ para el cultivo regado con agua tratada, superando en 22 % a la colza regada con agua limpia. Se aplicó una lámina neta de 224 mm y la eficiencia del uso del agua fue de 0.67 kg.m⁻³ y 0.55 kg.m⁻³ para el agua tratada y el agua limpia respectivamente.

-soja (*Glycine max L.*) el rendimiento promedio del cultivo regado con agua tratada fue de 7300 kg.ha⁻¹ y de 5800 kg.ha⁻¹ el regado con agua de perforación. Se aplicaron 254 mm de agua y se manejó el riego con alta frecuencia, reponiendo agua a un potencial del agua en el suelo de 40 centibares (cb), siendo la mayor eficiencia del uso del agua de 1.26 kg.m⁻³.

HIPOTESIS

1. La inoculación con *Azospirillum brasilense* promovería el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en cualquier situación bajo estudio, independientemente de la condición hídrica.
2. El riego con agua residual tratada favorecería la actividad de *Azospirillum* y por tanto aumentaría el rendimiento del maíz.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar la respuesta a la inoculación con *Azospirillum brasilense* en el cultivo de maíz a campo: en secano, bajo riego con agua de diferente calidad y dosis de fertilizante.

Objetivos específicos:

- Determinar la diferencia entre tratamientos del peso seco aéreo y de raíz en secano y bajo riego a los 60 y 100 días después de la siembra.
- Determinar el rendimiento en grano del cultivo de maíz ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en cada uno de los tratamientos evaluados.
- Interpretar el comportamiento de la infiltración del agua en el suelo bajo riego por surco.
- Representar la evolución hídrica del perfil del suelo en relación a las constantes hídricas del mismo.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se desarrollo durante el ciclo agrícola 2006/2007 en el predio del campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto ubicado detrás de *las Residencias Estudiantiles Universitarias* (REU); a los 64° 14' Longitud W de G y 33° 07' Latitud Sur, a 421msnm. (Figura 2)

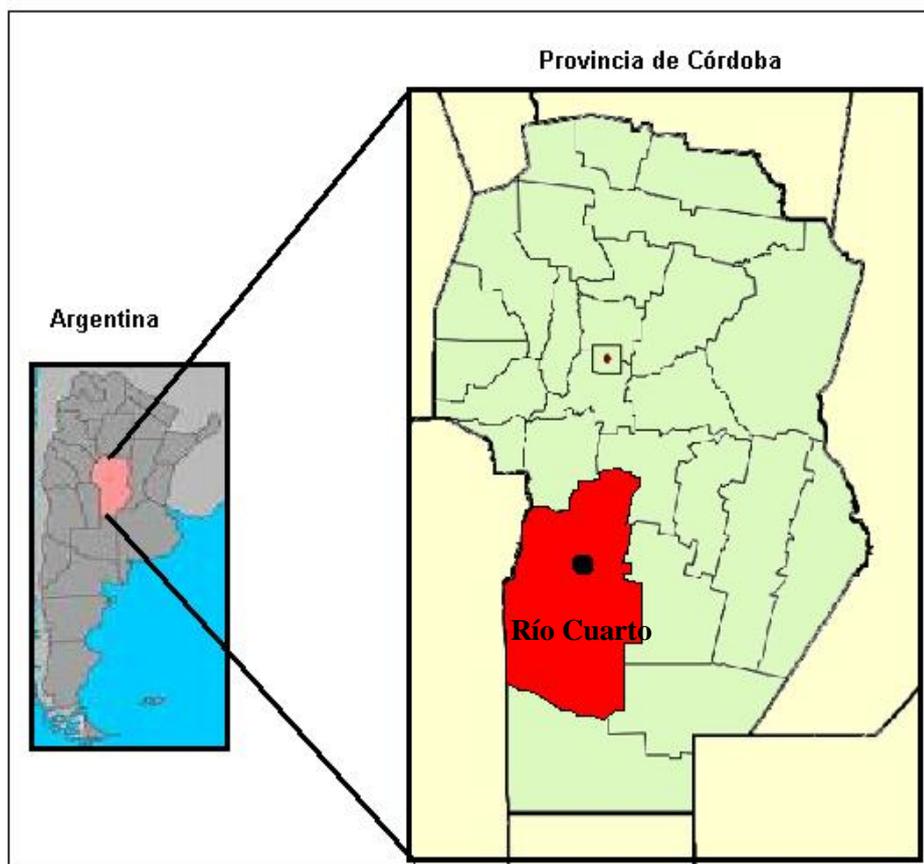


Figura 2: Ubicación geográfica del ensayo. REU. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

CARACTERIZACION EDAFOCLIMATICA

El clima del sitio experimental, tomando como referencia la serie de datos registrados en la estación de la Universidad Nacional de Río Cuarto durante el periodo de 1984-2006, está caracterizado por un régimen de precipitaciones monzónico, que concentra el 80% de las lluvias en el periodo de octubre a abril. La precipitación media anual es de 799,2 mm con una gran variabilidad interanual, encontrándose años secos con precipitaciones del orden del 56% (451,1 mm en el año 1989) de la media y años lluviosos que alcanzan el 150% (1195,2 mm en el año 1984) de la misma. (Figura 3)

En la figura 3, también se puede observar que en el año 1998 se registro la menor temperatura media anual de 15,07 °C, siendo la máxima en el año 2001 de 17,81 °C. El régimen térmico es mesotermal. La temperatura media anual es de 16,4 °C.

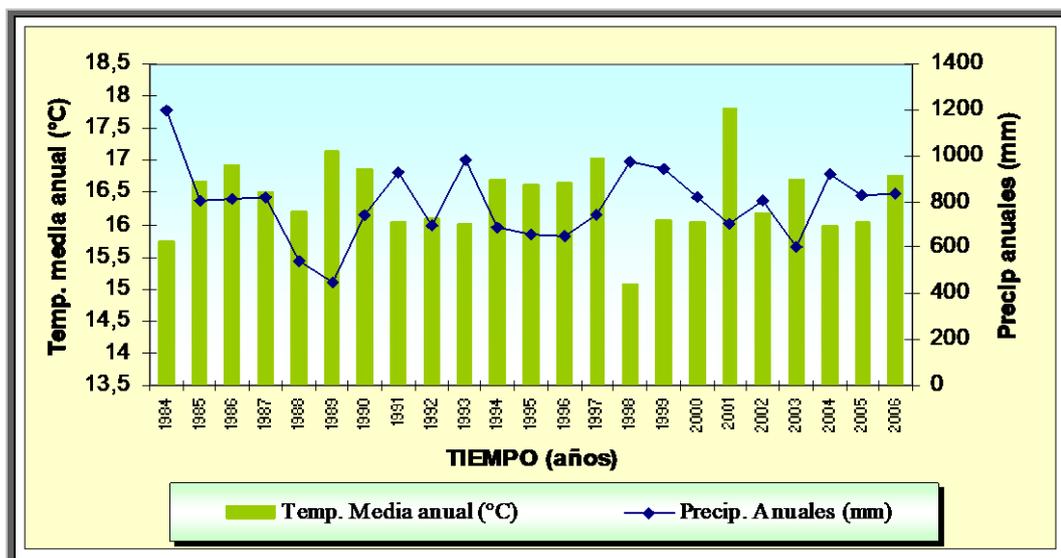


Figura 3: Distribución de las temperaturas medias anuales y de las precipitaciones anuales desde el año 1984 al año 2006. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

De la misma manera en la figura 4 se observa las temperaturas y precipitaciones medias correspondientes a cada mes del periodo 1995-2006.

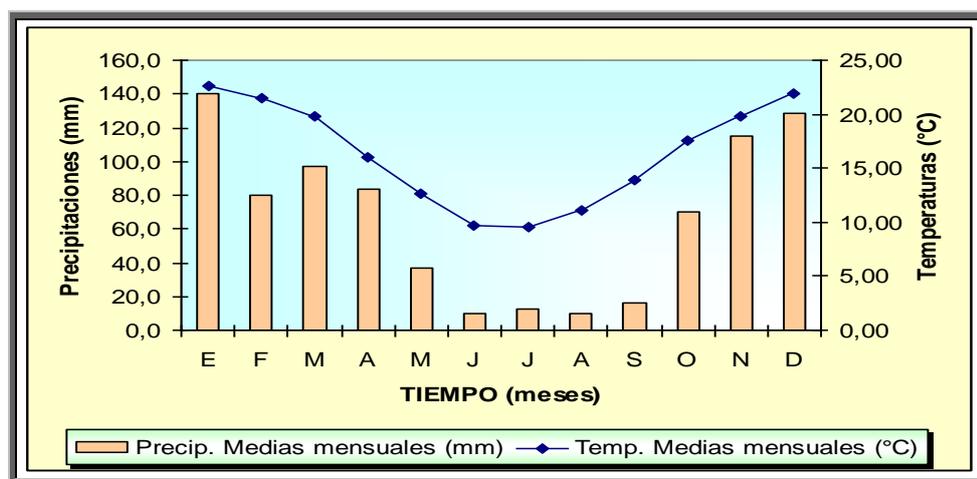


Figura 4: Precipitaciones y temperaturas medias mensuales desde el año 1995 al año 2006. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 22,59°C, mientras que la media del mes más frío (julio) es de 9,51°C. La amplitud térmica media anual es de 13,08°C.

La fecha media de la primera helada es el 25 de mayo, con una fecha extrema del 29 de abril, y la fecha media de la última helada es el 12 de septiembre, con una fecha extrema del 04 de noviembre; siendo el periodo libre de heladas en promedio de 255,7 días.

Durante el periodo experimental, se analizaron la temperatura media mensual (°C) y las precipitaciones mensuales (mm), las que se presentan en la Figura 5. La precipitación acumulada durante el periodo abril/06-abril/07 fue de 834 mm. Durante los meses de mayo, julio y agosto se registraron lluvias mínimas de 2, 1 y 0 mm respectivamente. Mientras que

la precipitación máxima se registró en el mes de enero con 169 mm. En el tiempo que fue llevado a cabo el tratamiento (10 de octubre/06-30 de abril/07), la precipitación acumulada fue de 810 mm respectivamente.

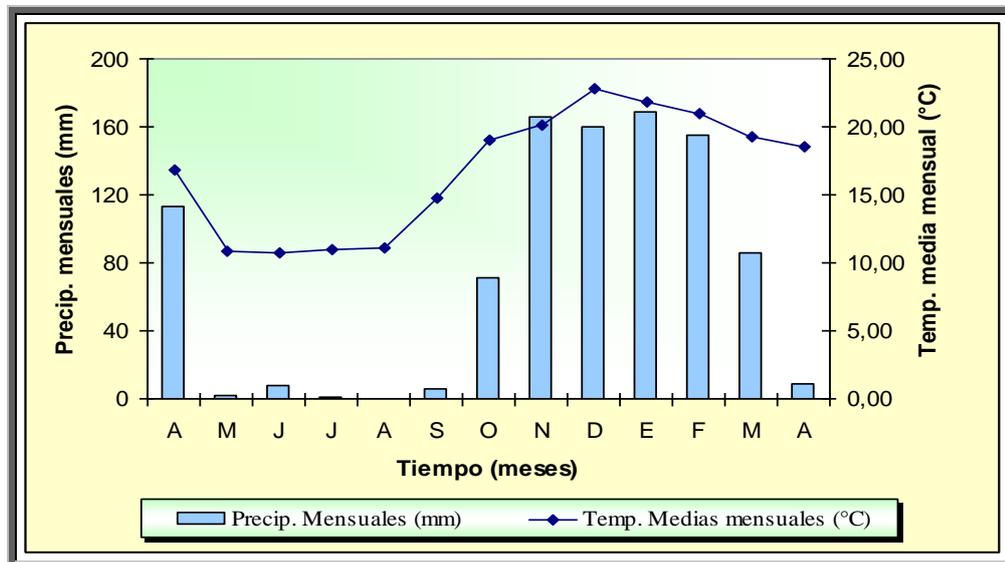


Figura 5: Distribución mensual de las temperaturas medias mensuales (°C) y de las precipitaciones mensuales (mm) durante el periodo abril 2006 – abril 2007. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Con respecto al régimen térmico, podemos observar la disminución de las temperaturas medias durante los meses invernales y el aumento que se presenta en primavera-verano, siendo la temperatura media del mes más calido de 22,8°C (diciembre) con una máxima extrema de 38,3°C (diciembre), mientras que la temperatura media mínima es de 10,7°C (junio) con una mínima extrema de -3,47°C en julio.

El suelo es un Hapludol típico, de propiedades físicas y comportamiento diferente según los horizontes que se trate (Etchevehere, 1976).

En la tabla 1 se muestran los datos del análisis físico-químico del suelo a una profundidad de 0-20 cm., realizado el 03/12/05. Para la materia orgánica se utilizó el método Walkley-Black; para N-Nitratos, Reducción por cadmio; en el análisis del fósforo el método Kurtz y Bray; y el pH por medio de Potenciometria 1:2,5.

Tabla 1: Análisis físico-químico del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

VARIABLES	UNIDADES	VALORES
Materia Orgánica	%	1,63
Nitrógeno de Nitratos	ppm	9,7
Nitratos	ppm	43
Fósforo	ppm	48,6
Sulfatos	ppm	9,6
pH (en agua)		7,02
Humedad	%	13,3

La densidad aparente (Dap) se determinó utilizando el método de Uhlund mediante cilindros de acero inoxidable de 50 mm de altura por 47 mm de diámetro interno, para posteriormente establecer la humedad volumétrica a diferentes profundidades. (Tabla 2)

Las constantes hídricas se determinaron en laboratorio mediante el empleo de ollas de presión a -30 kPa y a -1500 kPa de potencial para capacidad de campo (Wc) y punto de marchitez permanente (Wm) respectivamente, siguiendo la metodología de Black (Richards, 1965), determinando luego el contenido de agua útil (Wu). (Tabla 2)

Tabla 2: Características físicas del perfil del suelo.

Características	Profundidad (cm.)				Promedio
	12	25	37	50	
Dap (gr.cm ⁻³)	1.45	1.38	1.44	1.30	1.40
Wc (%)	20.12	19.83	17.36	22.13	19.86
Wm (%)	8.13	8.11	7.88	9.03	8.28
Wu (%)	11.99	11.72	9.48	13.10	11.57

La descripción del perfil (Soil Survey División Staff, 1993) es la siguiente:

Ap₁ (0-4cm.): La textura es media, por la forma y ordenamiento de sus agregados presenta una estructura de tipo subangular, con bloques de 5-10 mm y de grado débil.

Ap₂ (4-16cm.): La textura es franca, la estructura es de tipo subangular de grado moderadamente resistente de 10-20 mm y material ligeramente adhesivo.

2 A (16-28cm.): La textura es franca medianamente plástica y adherente, su estructura es de tipo angular, con bloques de 20-30 mm de grado moderado a fuerte.

3 AC (28-45cm.): La textura es arenosa a arenosa franca, de escasa adherencia y poca plasticidad. Su estructura es de tipo subangular, con bloques de 20 mm de grado débil.

4 A (45-64cm.): La textura es franco a franco arcilloso, medianamente plástico y adherente. Presenta bloques subangulares de caras planas y vértices agudos, 5-20 mm, grado moderado.

4 BW (64-74cm.): la textura es franco a franco arcilloso, medianamente plástico y adherente. Presenta bloques subangulares de 10-20 mm, grado moderado a fuerte, con presencia de mica.

4BWK (+74cm.): la textura es franca, algo plástico y adherente. Presenta bloques subangulares, de clase media a gruesa de 15-40 mm, de grado moderado a ligeramente duro, con presencia de mica.

Se midió la infiltración del agua en el suelo regado con agua residual tratada, mediante el método del doble anillo a diferentes tiempos hasta cumplir 45 minutos, en tres épocas

diferentes en la parte de la cabecera del surco. A partir de las ecuaciones correspondientes según Kostiakov (1932), se calculó la lámina acumulada y tasa de infiltración del suelo.

Además, se analizó la evolución hídrica del perfil para obtener el consumo de agua del cultivo de maíz en los diferentes estadios fenológicos, tomando muestras a distintas profundidades y mediante el peso húmedo y seco, se obtuvo el comportamiento del agua en el perfil del suelo.

RECURSO HIDRICO

El agua residual para riego procede de una población de 216 habitantes que son las *Residencias Estudiantiles Universitarias* (REU) de la Universidad Nacional de Río Cuarto, que generan $105 \text{ l.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$ dando un volumen hídrico disponible de 22680 l.d^{-1} . El agua limpia se capta de una perforación ubicada en el mismo predio de la experiencia, suministrando unos 14500 l.h^{-1} .

TRATAMIENTO DEL AGUA PARA RIEGO

El agua se conduce por una tubería de PVC de 75 mm de diámetro externo y de 55 m de longitud, desde una cámara de bombeo hasta la planta experimental (Figura 6). Comprende dos partes (Crespi, 2006): la primera, el tratamiento propiamente dicho que consta de 4 tanques de cemento de diferentes dimensiones y funciones enmarcados en un tejido olímpico de 20 m por 38 m y la segunda involucra a diferentes cultivos y/o actividades que se realizan en lo que se refiere a la reutilización de los efluentes, en este caso concreto el riego del cultivo de maíz.



Figura 6: Planta experimental del primer tratamiento al agua residual. UNRC. Río Cuarto-Córdoba.

El agua se trata en un reactor biológico (Figura 7) que es un tanque circular de 9,1 m de diámetro con una capacidad de 78000 l y su función es bajar la demanda biológica de oxígeno (DBO) a los límites permisibles para riego (Crespi *et al.* 2007).



Figura 7: Reactor biológico. UNRC. Río Cuarto-Córdoba

Luego de cierto tiempo de residencia hidráulica, el agua pasa a una laguna de maduración (Figura 8) que es un tanque de mayor volumen, circular de cemento, de 15.75 m de diámetro y con una capacidad de 136310 l. Su objetivo es eliminar gérmenes patógenos a límites permisibles haciendo uso de la luz ultravioleta generada naturalmente por el sol.



Figura 8: Laguna de maduración. UNRC. Río Cuarto-Córdoba.

A 0.10 m desde el fondo de este tanque y luego de cumplirse el tiempo de residencia hidráulico, se capta el agua y se bombea para el riego del cultivo de maíz.

Veterinaria, UNRC) y otras causas que podían afectar la emergencia del maíz. La fecha de siembra fue en la primera quincena de octubre (10/10/06). Previamente de la siembra, se aplicaron 100 mm de agua mediante aspersores móviles para cubrir la baja humedad del perfil y así poder llevar a cabo la misma, debido a que las lluvias comenzaron a tener importancia recién el trece de octubre (28 mm), tres días después de la siembra, mientras que antes de esa fecha se registraron solo 13 mm desde julio hasta el 10/10 (6mm a comienzos de octubre) generando un déficit hídrico importante. (Tabla 16, Anexos)

En la tabla 3, se puede visualizar el orden en el que se realizaron los distintos labores con sus respectivas fechas de ejecución.

Tabla 3: Labores culturales y actividades realizadas durante el ensayo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

FECHA	LABORES
15/09/06	Riego por aspersión para germinación y emergencia.
30/09/06	Laboreo del suelo para la siembra y formación de los surcos.
05/10/06	Análisis de calidad de semilla.
10/10/06	Implantación del cultivo en forma manual.
20/10/06	Calculo de las constantes hídricas
30/10/06	Raleo de plantas.
05/11/06	Control manual del maíz guacho.
15/11/06	Control químico de malezas.
23/11/06	Colocación de los sistemas de riego.
10/12/06	Muestreo de plantas a los 60 días post-siembra (V6-V7)
11/12/06	Aplicación de fertilizantes
05/01/07	Estudios de infiltración
18/01/07	Muestreo de plantas a los 100 días post-siembra (V15-V17).
31/01/07	Estudios de infiltración
19/02/07	Estudios de infiltración.
24/04/07	Cosecha manual.
25/04/07	Cosecha manual.
28/04/07	Desgranado, pesaje y cálculo de rendimientos.

El seguimiento de la humedad de suelo se hizo por el método gravimétrico; las muestras se realizaron en la cabecera del surco y pie del mismo a cuatro profundidades diferentes (0m-0,12m; 0,13m-0,25m; 0,26m-0,37m y 0,38m-0,50m.). En laboratorio, se las pesó, y luego fueron colocadas en estufa a una temperatura de 105°C durante 48 horas. Una

vez cumplido ese tiempo, se volvió a realizar el pesaje de las mismas. La diferencia de peso es el porcentaje de humedad. Por medio de una planilla de calculo de Excel, donde se introducen los datos de peso húmedo y seco junto a otros como lo son la tara (peso de los cilindros), valores de capacidad a campo (W_c) a distintas profundidades, promedio del punto de marchitez permanente (W_m), agua útil (W_u), y la lámina de reposición, da como resultado si se debe regar o no. La reposición del agua, se hace a un umbral del 30% desde el punto de vista de consumo.

El agua de riego se entregó a las parcelas por medio de tuberías con ventanitas de PVC de 160 mm de diámetro (Figura 10); el riego se hizo por superficie, con un tiempo de diez minutos cuando el programa indica la falta de humedad superior al 30%.



Figura 10: Colocación y ventanitas del sistema de riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

El agua de perforación se capta a 22 m de profundidad y es entregada por una bomba de 3.5 kg.cm^{-2} de presión a boca de pozo y el agua residual se capta de la laguna de maduración mediante una bomba centrífuga de eje horizontal de 3.5 HP y $11 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. En ambos casos el agua es conducida por tuberías separadas de 40 mm de diámetro de PVC hasta la cabecera del ensayo.

APLICACIÓN DE INOCULANTE

En cada una de las situaciones, se destinaron tres surcos (un total de nueve) para el análisis del inoculante. Para la inoculación líquida de la semilla de maíz con bacterias de *Azospirillum brasilense* se utilizó un producto comercial a razón de 180 cm^3 cada 50 kg de semilla siendo la concentración estándar mínima del inoculante $1 \times 10^8 \text{ UFC.mL}^{-1}$ (Unidades formadoras de colonia por mililitro).

APLICACIÓN DE FERTILIZANTE

El ensayo se dividió en cuatro bloques de 6 metros cada uno que representan las repeticiones del mismo. A su vez, en cada bloque se sortearon tres dosis diferentes de fertilizante, ocupando una superficie de 2 metros cada una (Figura 9), la cual su orden fue distribuida al azar. Una de las dosis es del 100% del nitrógeno que le falta al suelo (la aplicación para cubrir ese déficit será de 400 l.ha⁻¹); otra dosis es del 70% (280 l.ha⁻¹) y la tercera parte no se colocó fertilizante. El fertilizante usado fue UAN (30% de nitrógeno). No hubo fertilización a la siembra, la misma se realizó en el estadio V8-V9 (a los 60 días de implantada).

CONTROL DE MALEZAS

Para el control de las malezas, se aplicó glifosato, ya que este maíz es un híbrido simple resistente al mismo. Además, se hizo un control manual más temprano por la elevada emergencia de maíz guacho, que fue el cultivo antecesor al ensayo. Las plantas no controladas por este método, fueron controladas por el químico ya que ese maíz antecesor no era resistente a glifosato. Antes de la siembra las malezas fueron controladas por las labores culturales realizadas al suelo.

ANALISIS DE MUESTRAS

Se tomaron muestras de cada tratamiento, cada una de ellas se basó en 6 plantas, en dos momentos diferentes (a los 60 y 100 días post-siembra). Posteriormente fueron llevadas al laboratorio, separando la parte aérea de la raíz y llevadas a estufa durante 48 hs a una temperatura de 55 °C. Luego se determinó el peso seco de la parte aérea y los primeros 30 cm de raíz. Los datos fueron analizados con el programa estadístico Infostat, con una (P=0,05), se realizó ANOVA y se compararon los promedios con el Test de Duncan.

Se determinó rendimiento de los distintos tratamientos, a partir de la recolección de espigas pertenecientes a un metro lineal de los surcos (cada repetición tiene 2 metros de surco, el metro recogido fue el del medio del surco así no hay efecto de otro tratamiento).

DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue en franjas con bloques completos al azar, con dieciocho tratamientos y cuatro repeticiones, con arreglo factorial 2x3x3 (Figura 9). Siendo el factor principal A el inoculante (si o no inoculado), el factor B el aporte hídrico (secano, agua limpia, y residual) y el factor C el fertilizante (con tres dosis diferentes de fertilizantes: 0%, 70%, y 100%). (Tabla 4)

Las unidades experimentales (UE) fueron parcelas de 4.2 m² de superficie neta unitaria (2 m x 2,1 m), los tratamientos se encuentran separados entre si (riego de agua residual, agua de perforación y secano) por un surco.

Tabla 4: Tratamientos realizados en el ensayo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

	CON AZOSPIRILLUM			SIN AZOSPIRILLUM		
Fert.	Secano	Agua Limpia	Agua Residual	Secano	Agua Limpia	Agua Residual
0 %	SCA0%	ALCA0%	ARCA0%	SSA0%	ALSA0%	ARSA0%
70%	SCA70%	ALCA70%	ARCA70%	SSA70%	ALSA70%	ARSA70%
100%	SCA100%	ALCA100%	ARCA100%	SSA100%	ALSA100%	ARSA100%

Donde:

- SCA significa secano con Azospirillum a distintas dosis de fertilizante 0%; 70% y 100%.
- ALCA significa riego con agua limpia inoculado con Azospirillum a distintas dosis de fertilizante 0%; 70% y 100%.
- ARCA significa riego con agua residual tratada inoculado con Azospirillum a distintas dosis de fertilizante 0%; 70% y 100%.
- SSA significa secano sin Azospirillum a distintas dosis de fertilizante 0%; 70% y 100%.
- ALSA significa riego con agua limpia sin Azospirillum a distintas dosis de fertilizante 0%; 70% y 100%.
- ARSA significa riego con agua residual tratada sin Azospirillum a distintas dosis de fertilizante 0%; 70% y 100%.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

Se determinó la producción de materia seca aérea y radical a los 60 y 100 días post-siembra, sin la aplicación de fertilizantes, con o sin inoculantes en tres tratamientos diferentes: secano, riego con agua de perforación y riego con agua residual tratada.

MATERIA SECA A LOS 60 DÍAS POST-SIEMBRA

Los datos de materia seca radical y aérea se resumen en la tabla 5.

Tabla 5: Materia seca a los 60 días post-siembra (kg.ha⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

TRATAMIENTO	RADICAL		AÉREA	
	p-valor		p-valor	
Inoculante	0,12		0,18	
Aporte hídrico	0,04		0,02	
Inoculante*aporte hídrico	1,00		0,57	
Test de Duncan	Medias		Medias	
No inoculado: secano	96,95	A	290,27	A
Inoculado: secano	113,75	AB	332,62	AB
No inoculado: agua limpia	123,43	AB	387,68	B
Inoculado: agua limpia	140,7	B	385,58	B
No inoculado: agua residual	129,03	AB	357,23	AB
Inoculado: agua residual	146,07	B	415,1	B

Ref.: letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Como se puede observar en la tabla 5, se encuentran diferencias significativas al 5% para el aporte hídrico, tanto para la parte radical como la aérea.

Para el caso de la producción de materia seca en raíces, la interacción de ambos factores tiene una tendencia a aumentar la producción a favor del inoculante, obteniendo diferencias estadísticas significativas entre secano no inoculado con inoculado agua limpia y inoculado agua residual (Tabla 5). La respuesta del maíz al inoculante para cada tratamiento por separado, tuvo efectos positivos aunque sin diferencia estadística, en el caso de secano hay un incremento del 15% de biomasa a favor del tratamiento inoculado con respecto al testigo, mientras que para agua limpia es de 12% y agua residual de 11%. Además, la interacción de los dos factores produjo un mayor incremento de producción en el tratamiento con agua limpia inoculado que el de agua residual no inoculado, pudiendo decirse que la

acción de *A. brasilense* en este caso, es suficiente que iguala al aporte de nutrientes extras del agua residual.

Cuando realizamos un análisis individual de cada factor, se observa que para el inoculante no hay diferencias significativas aunque la misma sea del 13% (al no tenerse cuenta al aporte hídrico, se obtiene un promedio de los resultados). Para el caso del aporte hídrico, excluyendo el efecto del inoculante, si se observan diferencias significativas de ambos tipos de riego con respecto al testigo (diferencia del 20% y 23% para agua limpia y residual), mientras que no hay diferencias entre los dos tipos de riego. (Figura 11)

En la producción de materia seca aérea, se puede observar que la interacción de ambos factores ha tenido un comportamiento similar al del sistema radical, con diferencias significativas entre el testigo con agua limpia con y sin inoculante y agua residual inoculado. La diferencia de producción de materia seca en secano con *A. brasilense* al testigo es del 15%, y en el análisis para el agua residual es del 16% a favor del ensayo inoculado. Pero no marcan una diferencia estadística significativa. No se observa diferencia para el agua limpia.

La diferencia de producción promedio para los tratamientos inoculados con respecto a los que no es del 9%, no marcando diferencias estadísticas. En el caso de aportes hídricos, se encuentran diferencias significativas de producción de materia seca, llegando a haber una diferencia entre el testigo con los tratamientos de riego que supera el 19%. (Figura 11)

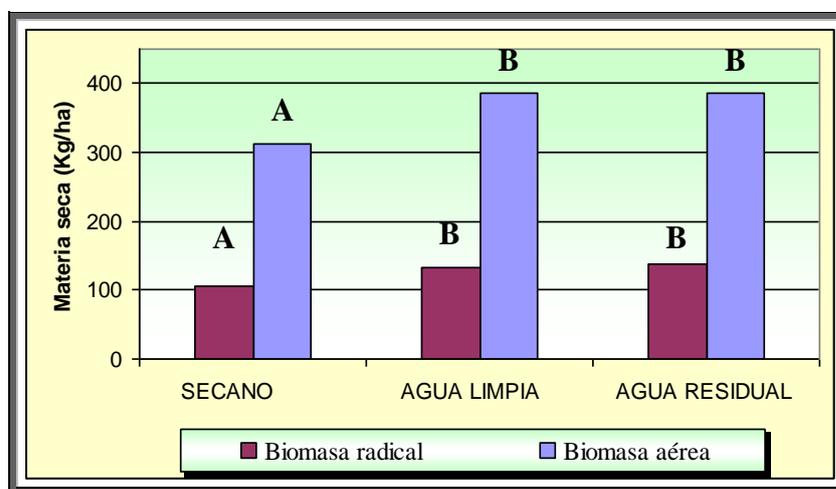


Figura 11: Biomasa radical y aérea a los 60 días post-siembra con distintos aportes hídricos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En el análisis de biomasa total, la diferencia de producción que se observó en secano entre el tratamiento inoculado con el que no es de 15%, mientras que para el agua residual, la diferencia también fue de 15 %, siendo esta la mayor producción en todos los tratamientos, o sea, en la interacción del agua residual con *Azospirillum*. La diferencia en agua limpia fue mínima (Figura 12).

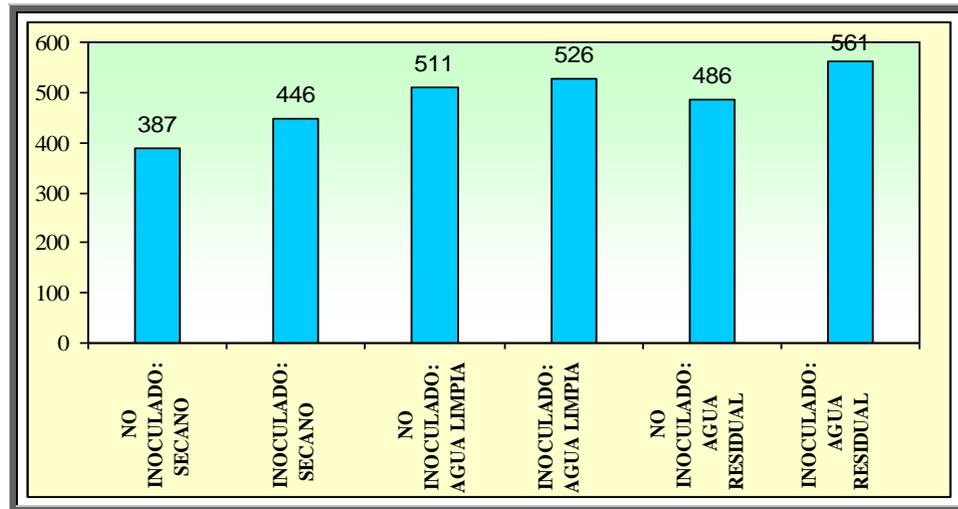


Figura 12: Biomasa total a los 60 días post-siembra (kg.ha⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En ningún caso se determinaron respuestas estadísticamente significativas a la inoculación, no coincidiendo en parte con Fallik *et al* (1988), que dice que los efectos sobre las plantas, como resultado de la inoculación con *Azospirillum* se producen en los estadios iniciales de crecimiento en las primeras semanas después de la colonización radicular. Si bien las diferencias observadas no son de gran magnitud, marcan una tendencia leve a favor de los tratamientos con *Azospirillum*.

MATERIA SECA A LOS 100 DÍAS POST-SIEMBRA

El comportamiento fue similar que a los 60 días de la siembra, en el análisis de la varianza sólo hubo diferencias estadísticas significativas al 5% para el factor de aportes hídricos tanto para el sistema radical como el aéreo, no así para el inoculante o la interacción de ambos factores. (Tabla 6)

Tabla 6: Materia seca a los 100 días post-siembra (Kg.ha⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

TRATAMIENTO	RADICAL		AÉREA	
	p-valor		p-valor	
Inoculante	0,20		0,31	
Aporte hídrico	0,03		0,01	
Inoculante*aporte hídrico	0,53		0,26	
Test de Duncan	Medias		Medias	
No inoculado: secano	2191	A	18307	A
Inoculado: secano	2333	A	22363	AB
No inoculado: agua limpia	2471	AB	23312	B
Inoculado: agua limpia	2470	AB	23042	B
No inoculado: agua residual	2508	AB	25524	B
Inoculado: agua residual	2842	B	25392	B

Ref.: letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05).

En el análisis de la materia seca radical, la interacción de ambos factores muestran diferencias significativas entre secano (con y sin *Azospirillum*) y agua residual inoculado. Los ensayos inoculados en secano y con agua residual marcaron una leve diferencia con respecto a los no inoculados (del 6% y 13%), mientras que el inoculante no tuvo ningún efecto en agua limpia.

Para el caso de la acción del inoculante sin tener en cuenta los distintos aportes hídricos, hay una tendencia al aumento de la biomasa radical del 7%, que estadísticamente no tiene diferencias (p 0,20).

Mientras que para los distintos aportes hídricos, hay diferencias significativas entre ellos (p 0,03), observándose tanto para secano como también entre los dos tipos de riego, resultado que no se había registrado en el análisis de materia seca a los 60 días. El tratamiento sin riego tiene una diferencia de materia seca con agua limpia del 9% y del 18% para el agua residual. (Figura 13)

En el análisis de producción de materia seca aérea, pasa casi lo mismo que en la materia seca radical, hay diferencias estadísticas significativas para el aporte hídrico (p 0,01); mientras que para el inoculante no hay diferencia cuando se los analiza sin tener en cuenta al otro factor (p 0,31).

Si analizamos *A. brasilense* para cada tipo de aporte hídrico, se obtiene que en secano la acción del inoculante tuvo un efecto en la producción de materia seca logrando un incremento del 22% (Tabla 7), suficiente para que esa diferencia sea estadísticamente significativa (p 0,04), mientras que en los distintos tipos de riego no se observa el efecto del inoculante.

Tabla 7: Biomasa aérea a los 100 días en secano con y sin *Azospirillum*. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Análisis de la varianza	p	
Inoculante	0,04	
Test : Duncan	Medias	
NO INOCULADO	18307	A
INOCULADO	22362	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05)

En la interacción de ambos factores, se dan diferencias significativas entre secano no inoculado con todos los tratamientos que han recibido algún tipo de aporte hídrico, pero esa diferencia esta dada por el factor aporte hídrico y no por la inoculación. (Tabla 6)

En los distintos aportes hídricos, se muestran diferencias significativas al igual que en la producción de biomasa radical, con incrementos del riego con agua limpia y residual del 14% y 25% con respecto al testigo. (Figura 13)

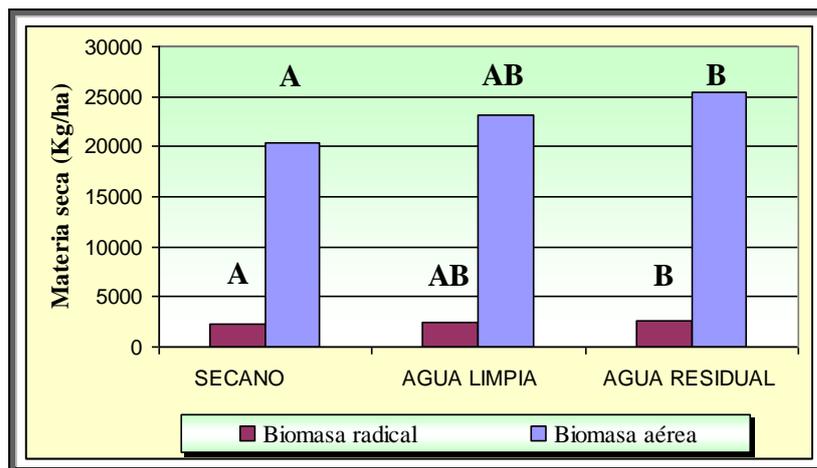


Figura 13: Biomasa radical y aérea a los 100 días post-siembra con distintos aportes hídricos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En el análisis de materia seca total, el tratamiento con agua residual inoculado es el que acumula la mayor producción de materia seca, dicho anteriormente no se observa acción del inoculante en los distintos tipos de riego. Solamente se observa en secano con una diferencia del 20% (con diferencias significativas para la biomasa aérea).

Lo que se puede apreciar en la figura 14, es que el tratamiento en secano inoculado tuvo una producción de materia seca semejante a los que recibieron riego con agua limpia. Por lo cual, se supondría que el mayor crecimiento radical gracias a *Azospirillum brasilense* en las condiciones menos favorables, tuvo efectos positivos en la absorción de agua y nutrientes con la consecuencia de una mayor producción de biomasa aérea como radical.

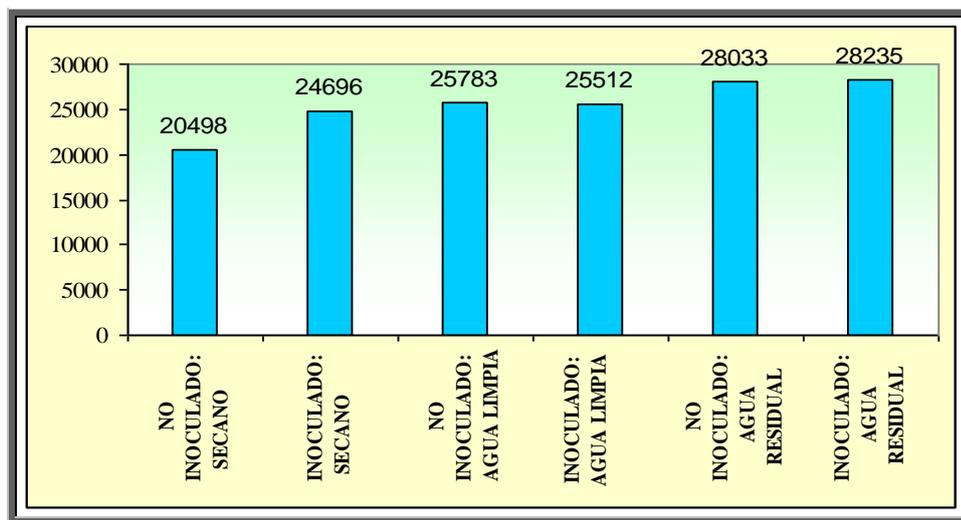


Figura 14: Biomasa total a los 100 días post-siembra (kg.ha⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Por los resultados obtenidos, se concuerda con Okon y Labandera-González (1994), que mencionan una estimulación en el crecimiento de raíces, lo cual incrementaría la tasa de crecimiento aéreo y radicular. Thuar y Salvagno (2003), obtuvieron resultados similares, un

incremento del peso seco radical y aéreo en maíz inoculado con *A. brasilense*, al igual que Bellone *et al* (1999), quien registró mejoras en la parte aérea.

Además, los resultados obtenidos para los distintos aportes hídricos, concuerdan con Rodríguez Caceres *et al* (1996), que mostraron que la respuesta a la inoculación varía en función del grado de fertilidad y la disponibilidad de agua en los suelos, por lo cual aquí se observa cuando no existe déficit hídricos o tiene suficientes nutrientes, la respuesta a la inoculación desaparece o se hace mínima.

Díaz-Zorita y Fernandez-Canigia (2007), también obtuvieron incrementos en la producción de materia seca aérea y radical, excepto que estas fueron mucho mayores (54% y 28%) a las obtenidas en secano en este ensayo. Es probable que esa diferencia haya sido mayor, debido a que las elevadas precipitaciones como la humedad del perfil del suelo, no produjeron un stress hídrico importante en el cultivo, además de encontrarse en un suelo fértil comparado a otros de la región, y por ello la respuesta del inoculante no fue la esperada.

DETERMINACION DEL RENDIMIENTO

Los resultados de las pruebas estadísticas realizadas indican que no existió diferencia de medias para el rendimiento, con la variable *Azospirillum*. Para el caso del aporte hídrico, las medias de rendimiento mostraron diferencias significativas, al igual que el fertilizante. Para las distintas interacciones, no hubo diferencias estadísticas significativas en el análisis de la varianza. (Tabla 8)

Tabla 8: *Azospirillum*, aportes hídrico, fertilizante y interacciones en rendimiento. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

TRATAMIENTO	P-VALOR	CV
AZOSPIRILLUM	0.1836	
APORTE HIDRICO	0.0018	
FERTILIZANTE	0.0144	
AZOSPIRILLUM*APORTE HIDRICO	0.9437	21.47
AZOSPIRILLUM*FERTILIZANTE	0.4073	
APORTE HIDRICO*FERTILIZANTE	0.1514	
APORTE HIDRICO*FERTILIZANTE*AZOSPIRILLUM	0.7551	

FACTOR INOCULANTE

Como se observa en la Tabla 8, la acción del *Azospirillum brasilense* sobre el maíz, no ha tenido un efecto que marque una diferencia significativa (p 0.1836). A pesar de esto, se muestra una tendencia al aumento del rendimiento por el efecto que ha tenido la bacteria

causando una diferencia de 7 qq, representando un aumento del 7% en la producción que estadísticamente no es significativa, pero en el análisis del costo económico a campo si la tiene. (Tabla 9)

Tabla 9: *Azospirillum* y sus interacciones con aportes hídrico y fertilizante en rendimiento (qq.ha⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Test de Duncan (<i>Azospirillum</i>)	Medias (qq.ha⁻¹)	
NO INOCULADO	94.05	A
INOCULADO	101.02	A
Test de Duncan (<i>Azospirillum</i>*Aporte hídrico)	Medias (qq.ha⁻¹)	
NO INOCULADO*SECANO	80.23	A
INOCULADO*SECANO	85.12	AB
NO INOCULADO*AGUA LIMPIA	94.21	A B C
INOCULADO*AGUA LIMPIA	103.22	B C D
NO INOCULADO*AGUA RESIDUAL	107.72	CD
INOCULADO*AGUA RESIDUAL	114.73	D
Test de Duncan (<i>Azospirillum</i>*Fertilizante)	Medias (qq.ha⁻¹)	
NO INOCULADO*DOSIS 0%	79.47	A
NO INOCULADO* DOSIS 70%	93.68	A
INOCULADO* DOSIS 0%	94.04	A
INOCULADO* DOSIS 70%	102.08	A B
INOCULADO* DOSIS 100%	106.93	A B
NO INOCULADO* DOSIS 100%	109.01	B

Ref.: letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05).

La interacción de *A. brasilense* con aporte hídrico, tampoco produjo una diferencia significativa, la misma estuvo muy lejos de lograrlo (p 0.9437). En los distintos aportes hídricos, se obtuvieron mejores resultados en aquellos tratamientos inoculados, pero esa diferencia es mínima (Tabla 9). Para el caso de secano, se registró un incremento en el rendimiento del 6%, mientras que para el agua limpia es de 9% y del 7% para agua residual.

Por lo dicho anteriormente, se observa que no hay un efecto favorable en la acción de *Azospirillum* junto al agua residual, ya que el efecto que se esperaba obtener a partir de la estimulación de producción de biomasa radical y por ende la aérea, era lograr una mayor absorción de nutrientes que son aportados como abono orgánico por medio del riego con dicha agua, en cambio, los resultados obtenidos indican que el incremento en la producción causado por el inoculante no superan a los producidos en los otros tratamientos. (Figura 15)

Estos resultados concuerdan en parte con Hoffman *et al.*, (2007), que menciona que tuvieron efectos benéficos con *Azospirillum* con stress hídrico y con buena disponibilidad hídrica, pero los incrementos en el rendimiento que obtuvieron superan ampliamente los obtenidos a este ensayo (del 17 y 15% para el ambiente con y sin stress hídrico).

Las diferencias significativas que se muestran en la interacción de ambos factores entre el testigo con los tratamientos inoculados y regados con agua limpia o agua residual, y no inoculado con riego con agua residual, no se debe al efecto de la bacteria, sino esa diferencia esta dada por los aportes hídricos, entonces se concluye que las variables actuaron independientemente sobre el rendimiento, al igual que las otras diferencias que se encuentran. Si hubiera existido una interacción entre la bacteria con los distintos aportes hídricos, se hubiera registrado el efecto favorable con el agua residual dicho anteriormente. En la Figura 15 se aprecia que ese efecto no existió por que la diferencia de producción entre un tratamiento inoculado con el que no, es similar para los distintos aportes hídricos.

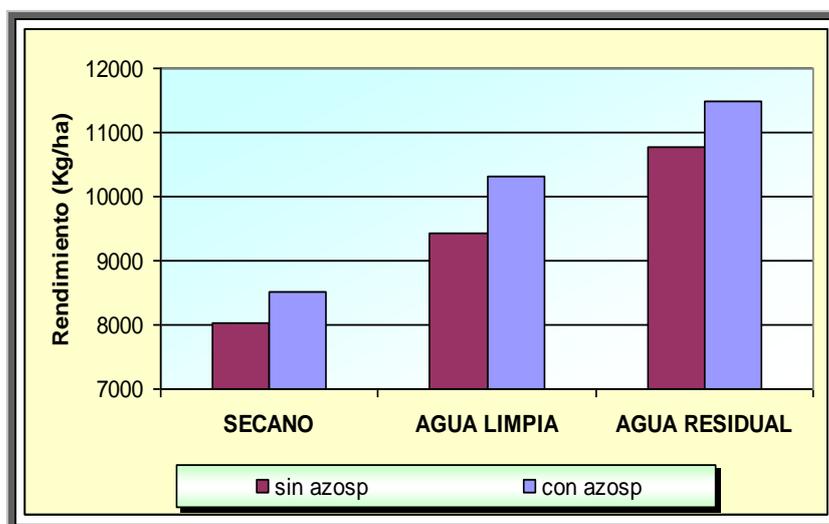


Figura 15: Rendimientos obtenidos con distintos aportes hídricos con y sin *Azospirillum*. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En la interacción de *Azospirillum* con distintas dosis de fertilizante nitrogenado, se observa un incremento en los rendimientos a bajas dosis, no así en dosis altas. Estas diferencias no alcanzan a ser estadísticamente significativas ($p = 0.4073$). El tratamiento inoculado con dosis 0% de N, obtuvo una diferencia del rendimiento de 19% que representa 14 qq.ha^{-1} (en el análisis de la interacción de los tres factores (Pág. 32), sólo con esta dosis de fertilizante si se encuentran diferencias estadísticas). Para los tratamientos con dosis del 70% de N, la diferencia de rendimiento fue de 9% (9 qq.ha^{-1}). No se registraron diferencias en la producción cuando el fertilizante tenía una dosis del 100% de N que le faltaba al suelo (400 l.ha^{-1} de UAN).

De acuerdo a los resultados de la Tabla 9, el inoculante nos permite un ahorro del fertilizante debido a que no hay diferencias de producción entre los tratamientos inoculados sin fertilizante y el testigo con una dosis del 70% (280 l.ha^{-1} UAN) de lo que le falta al suelo. Gracias a la utilización de *A. brasilense*, se puede ahorrar hasta un 50% o más de uso de fertilizante, coincidiendo con Fuentes-Ramirez y Caballero-Mellado, (2006) donde indican

que la inoculación con cepas de *Azospirillum* seleccionadas permite reducir el uso de fertilizantes minerales en el rango de 30 a 50%.

No se concuerda con lo dicho por Hoffman *et al.*, (2007), que menciona que los mayores incrementos en el rendimiento fueron con las mayores dosis de fertilizantes nitrogenado.

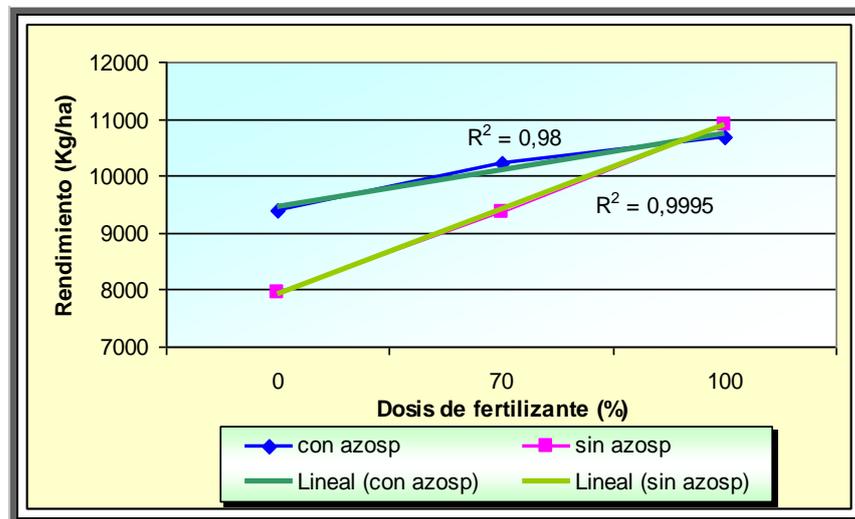


Figura 16: Rendimientos obtenidos con distintas dosis de fertilizante con y sin *Azospirillum*. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

En la figura 16 se puede observar como *Azospirillum brasilense* permitió un ahorro en el uso del fertilizante, además de mostrarnos la falta de interacción entre el fertilizante con el inoculante ya que a medida que aumenta la dosis de N, las curvas se acercan, evidenciando la desaparición del efecto de *Azospirillum* a altas dosis de fertilizantes. Esto concuerda con Fuentes-Ramirez y Caballero-Mellado, (2006) que encontraron que los efectos benéficos sobre el rendimiento en grano debidos a la inoculación con *Azospirillum*, fueron mejores y consistentes cuando los niveles de nitrógeno aplicados fueron bajos o intermedios.

Aunque *A. brasilense* no produjo aumentos del rendimiento que marquen diferencias estadísticas significativas al 5%, hubo una tendencia al incremento de la producción del maíz, coincidiendo con Bashan (1999), que obtuvo resultados favorables en incrementos de rendimiento, oscilando las diferencias entre el 5 al 30 % al igual que a otros trabajos realizados en nuestro país, que informaron respuestas positivas de entre 13 y 33 % (Barrios *et al.*, 1986; Rodríguez-Cáceres *et al.*, 1994). Díaz-Zorita y Fernandez-Canigia (2007), hallaron efectos favorables en los tratamientos inoculados con *A. brasilense* en varios cultivos, entre ellos el maíz con incrementos en la producción de más de 450 kg.ha⁻¹, similar a lo obtenido en este ensayo.

Las diferencias de rendimiento causadas por *Azospirillum brasilense*, no fueron muy marcadas aunque hubo una tendencia a ello. Es difícil determinar que variables o

características del sitio imposibilitaron a que *Azospirillum brasilense* se manifieste con mayor efecto. Es probable que las condiciones ambientales caracterizadas por la ocurrencia de precipitaciones ajustadas pero suficientes, evitando un verdadero stress hídrico para el cultivo, sumado a una buena disponibilidad hídrica en el perfil al momento de la siembra producto del riego realizado antes de ésta, junto a un suelo altamente fértil en los principales nutrientes como nitrógeno y fósforo, haya determinado que el efecto promotor del desarrollo radicular producido por *Azospirillum* no tuviera impacto en los rendimientos de grano. Condiciones más restringidas de humedad como de fertilidad podrían haber favorecido aun más al tratamiento inoculado en relación con el testigo. En esta situación, el primero se habría beneficiado a causa de un mayor y más rápido desarrollo radicular y, como consecuencia, mayor absorción de agua y nutrientes que se incorporan a la planta por flujo masal, como N o azufre (S), generando un incremento en la producción de biomasa aérea marcando una diferencia mucho mayor con el testigo a lo obtenido en este ensayo. El resultado de este efecto sería un mayor aumento en el rendimiento.

FACTOR APORTE HIDRICO

El efecto que ha tenido este factor en la producción de grano de maíz, ha sido suficiente para que se encuentren diferencias estadísticas significativas al 5% ($p = 0.0018$) entre el tratamiento secano con los dos tipos de riego, al igual que en la producción de biomasa radical y aérea a los 60 y 100 días desde la siembra, donde se observó el mismo efecto. (Tabla 10)

Tabla 10: Aporte hídrico y su interacción con fertilizante en rendimiento (qq.ha⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Test de Duncan (Aporte hídrico)	Medias (qq.ha ⁻¹)	
SECANO	82.68	A
AGUA LIMPIA	98.71	B
AGUA RESIDUAL	111.22	B
Test de Duncan (Aporte hídrico*Fertilizante)	Medias (qq.ha ⁻¹)	
SECANO*DOSIS: 0%	64.64	A
AGUA LIMPIA*DOSIS: 0%	81.44	A
SECANO*DOSIS: 70%	86.69	A
SECANO*DOSIS: 100%	96.70	A B
AGUA LIMPIA*DOSIS: 70%	99.88	A B C
AGUA RESIDUAL*DOSIS: 70%	107.09	A B C
AGUA RESIDUAL*DOSIS:100%	112.39	B C D
AGUA RESIDUAL*DOSIS: 0%	114.19	C D
AGUA LIMPIA*DOSIS: 100%	114.83	D

Ref.: letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El mayor rendimiento en aporte hídrico se dio en el agua residual superando al testigo en un 35%, mientras que para el agua de perforación el incremento en el rendimiento comparado al testigo fue de 20%.

Los resultados obtenidos en este ensayo, coinciden con Ramos *et al.* (1989), y Amorós *et al.* (1989), que indicaron que el riego con agua residual generó producciones ligeramente superiores al riego con agua normal en la producción de uva de mesa. Igualmente, Crespi *et al.* (2005), menciona que obtuvo mediante el riego con agua residual, un rendimiento superior al 22% cuando se lo compara con el riego de agua limpia en el cultivo de colza.

En la interacción del aporte hídrico con el fertilizante, los tratamientos de agua limpia con dosis del 100% y agua residual con dosis de 0% y 100% de fertilizante, no produjo diferencias significativas, superando al testigo en más del 75% de producción. La tabla 10, nos permite observar la respuesta del cultivo de maíz al riego, llegando a haber diferencias de rendimiento entre el riego con agua limpia dosis 0%, 70% y 100% de fertilizante con respecto a sus testigos en secano del 25%, 15% y 19%. Para los ensayos con agua residual, casi no hubo diferencia de producción entre las distintas dosis de fertilizante, indicando que este último no tuvo efecto en la producción, al contrario el más rendidor fue al que no se le agregó fertilizante. Se puede concluir de esos resultados que mediante el uso de agua residual, estamos reemplazando al fertilizante sintético hasta en un 100%, ya que se obtiene el mismo rendimiento entre el riego con agua residual dosis 0%, que con el riego de agua limpia o residual y 100% de fertilizante.

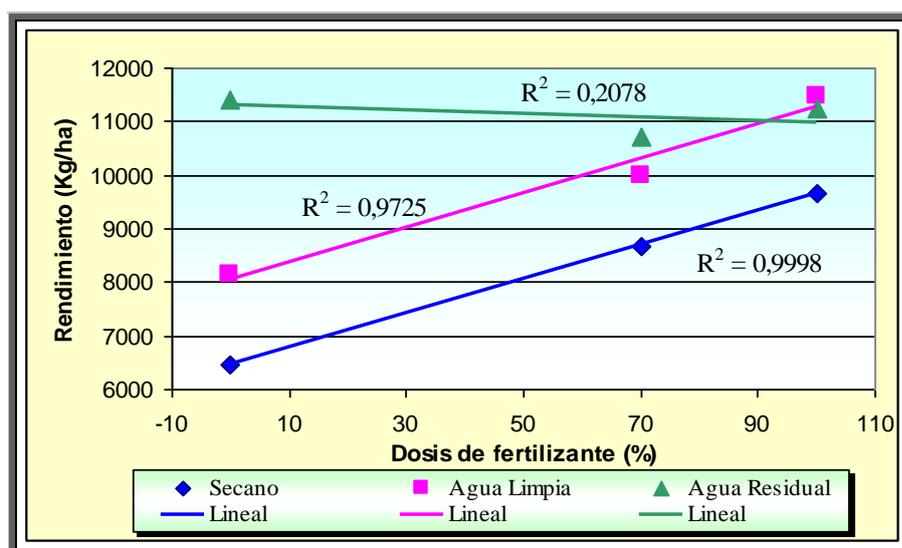


Figura 17: Rendimientos obtenidos con distintos aportes hídricos y dosis de fertilizante. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

El análisis de regresión lineal (Figura 17) para el tratamiento de aportes hídricos con distintas dosis de fertilizante, muestra que para secano como agua limpia, el incremento del rendimiento tiene una correlación directa con el aumento de la dosis de fertilizante (R^2 0,9998 y R^2 0,9725). En cambio, para el agua residual (R^2 0,2078) no se observa el mismo comportamiento, el fertilizante no tiene ningún efecto sobre el rendimiento en este tipo de riego, permitiendo la disminución de los costos de producción.

Este incremento de la producción, se atribuye a los nutrientes que se encuentran bajo la forma de compuestos solubles, los que son asimilados fácilmente por la planta y aportados con la misma frecuencia que el riego. Muchas veces el incremento del rendimiento es mayor con riego de agua residual que con agua limpia y fertilizada, debido a que los fertilizantes químicos son compuestos menos solubles que sólo se aplican al inicio de la campaña, además una parte es disuelta parcialmente por el agua de riego, otra parte es arrastrada con el agua de percolación y otra se pierde por evaporación.

Por lo cual, se concuerda con Moscoso y Leon (1994), que demostraron que las aguas residuales aportan todos los nutrientes requeridos por los cultivos, lo que permite ahorrar los costos de fertilización, que muchas veces representan más del 50% del costo de producción. También Marecos Do Monte y Sousa (1991), mencionan que obtuvieron rendimientos en cultivos regados con efluentes de tratamiento primario y secundario muy similares a los que se alcanzaron al regar con agua potable solamente, y los que además utilizaron fertilizantes comerciales, indicando que el contenido de nitrógeno de los efluentes del alcantarillado tiene un valor de fertilización igual a los fertilizantes comerciales, cuando el agua residual tratada se usa para riego.

FACTOR FERTILIZANTE

Para este tipo de variable, se dieron diferencias estadísticas significativas al 5% de probabilidad (p 0.0144). Cuando se realiza un agregado de N al suelo del 70% faltante de este (280 l.ha^{-1} de UAN), se logra un incremento del rendimiento de 13%. En el caso de una dosis de 100% de fertilizante faltante del suelo (400 l.ha^{-1} de UAN, significa un agregado de $120 \text{ kg. de nitrógeno}$), el aumento de la producción es de 24% con respecto al testigo.

Tabla 11: Acción del fertilizante en el rendimiento (qq.ha^{-1}). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Test de Duncan (Fertilizante)	Medias (qq.ha^{-1})
DOSIS 0%	86.75 A
DOSIS 70%	97.88 A B
DOSIS 100%	107.97 B

Ref.: letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En la figura 18 se puede observar la importancia que tiene el efecto del fertilizante sobre el rendimiento (R^2 0.961), que es un efecto directo sobre el mismo.

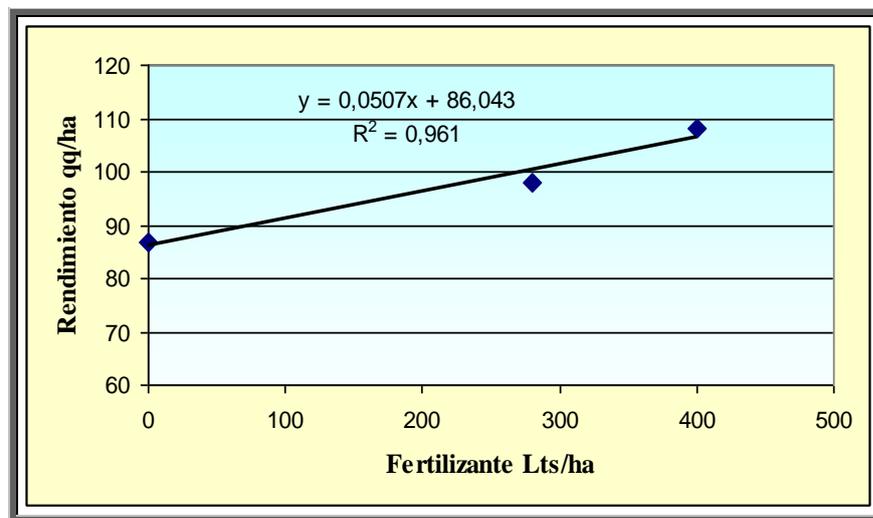


Figura 18: Rendimientos con la variable fertilizante. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Si este ensayo se hubiera realizado en un suelo mas pobre en nutrientes, las diferencias de producción seguramente hubieran sido más marcadas.

INTERACCION DE LOS TRES FACTORES

En este ensayo se ha logrado un rendimiento máximo de $121 \text{ qq} \cdot \text{ha}^{-1}$ para el tratamiento inoculado, con riego de agua residual y sin el agregado de fertilizantes. El mínimo rendimiento es de $58 \text{ qq} \cdot \text{ha}^{-1}$, se da en el testigo, que es el que no tiene riego, no inoculado y sin el agregado de fertilizantes. Lo que se puede observar, es que a medida que aumenta la cantidad de fertilizante comercial utilizado, las diferencias de la acción del inoculante desaparecen en los tres tipos de riego. (Tabla 18 en anexo)

Cuando se realiza un análisis de la acción del inoculante junto a los distintos tipos de aporte hídrico y sin el agregado de fertilizantes, presentan diferencias significativas tanto para el aporte hídrico como el inoculante. Con el agregado del fertilizante, esas diferencias tienden a desaparecer. (Tabla 12)

Este es el único caso dentro del rendimiento, que *Azospirillum* tiene diferencias significativas, y es cuando no hay agregado de fertilizante comercial. Antes cuando se analizó *Azospirillum brasilense* junto al fertilizante, no mostró esta diferencia, debido a que la misma estaba influenciada en el análisis por los datos obtenidos de los tratamientos con agregado de fertilizante y como se mencionó anteriormente, con dosis más altas desaparece el efecto del inoculante.

Estas diferencias estadísticas a favor del inoculante sin el agregado de fertilizante, se da en los tres tipos de aportes hídricos. El tratamiento inoculado, supera al testigo en un 19% en promedio (sin tener en cuenta los aportes hídricos). En el caso de secano, la diferencia es de 26%, para riego con agua limpia es de 20% y para agua residual de 13%. Por lo cual, estos resultados nos permite deducir que el efecto promotor de *A. brasilense* aumenta en los lugares mas pobres, a medida que haya un menor stress hídrico y/o menos limitantes nutricionales, la acción de la bacteria tiende a disminuir.

Tabla 12: *Azospirillum* y aportes hídricos sin el agregado de fertilizante en rendimiento (qq.ha⁻¹). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

TRATAMIENTO	P-VALOR	
AZOSPIRILLUM	0,01	
APORTE HIDRICO	0,00	
Test de Duncan (<i>Azospirillum</i>)	Medias (qq.ha⁻¹)	
NO INOCULADO	79,47	A
INOCULADO	94,07	B
Test de Duncan (Aporte hídrico)	Medias (qq.ha⁻¹)	
SECANO	64,65	A
AGUA LIMPIA	81,45	B
AGUA RESIDUAL	114,20	C
Test de Duncan (<i>Azospirillum</i>*Aporte hídrico)	Medias (qq.ha⁻¹)	
NO INOCULADO*SECANO	57,35	A
INOCULADO*SECANO	71,95	B
NO INOCULADO*AGUA LIMPIA	74,15	B
INOCULADO*AGUA LIMPIA	88,75	C
NO INOCULADO*AGUA RESIDUAL	106,90	D
INOCULADO*AGUA RESIDUAL	121,50	E

Ref.: letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05)..

Cuando el agregado del fertilizante es de un 70% del faltante del suelo (84 kg. de nitrógeno), no se encuentran diferencias estadísticas, pero si un aumento de la producción a favor de los tratamientos inoculados. A dosis muy elevadas, completando el faltante de N del suelo, desaparece totalmente el efecto benéfico de *A. brasilense*.

Entonces, se concuerda con Fuentes-Ramirez and Caballero-Mellado, (2006), que dicen que a pesar de que la inoculación con *Azospirillum* no causa incrementos en el rendimiento del 100%, ha tenido resultado en una gran diversidad de condiciones edáficas y climáticas, así como de cultivos, variedades y niveles de fertilizantes aplicados. También Ventimiglia *et al.*, (1999) determinaron incrementos en los rendimientos por inoculación con *Azospirillum* en ausencia de fertilización.

Para el análisis de aporte hídrico, se observan diferencias significativas en los tres tipos, con incrementos en los rendimientos de 25% para agua limpia y de 75% para agua residual con respecto al testigo.

En la interacción de ambos factores (*Azospirillum**Aporte hídrico), sin el agregado de fertilizante hubo diferencias estadísticas importantes. Pero no se observa una interacción positiva entre el tipo de riego con la bacteria, debido a que el porcentaje de incremento del rendimiento disminuyó con el agregado de nutrientes por medio del riego, en vez de observarse alguna diferencia mayor. Es decir, que no hubo un aumento de absorción de nutrientes y agua que favorezca aun más la producción que cuando éstos están limitados. Al contrario, dicho anteriormente se evidencia un efecto que nos permite interpretar que este es más importante en zonas con limitantes de los factores de producción que en zonas donde no lo son.

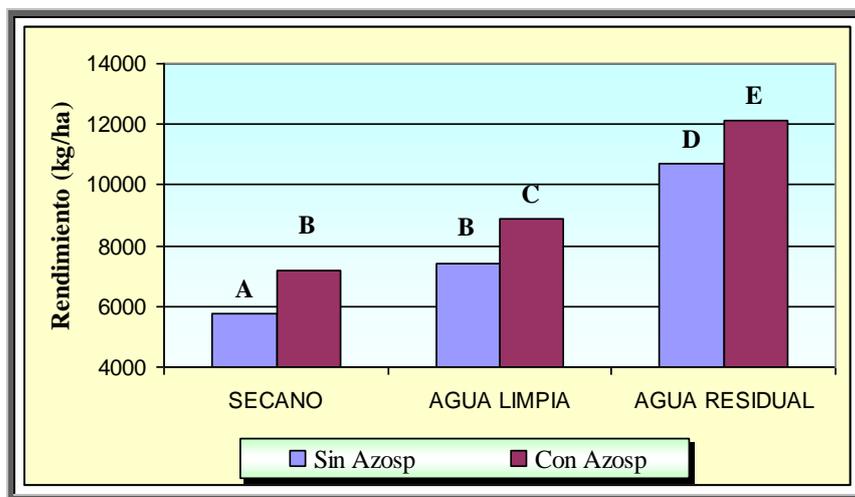


Figura 19: Rendimientos con la interacción de azospirillum y aporte hídrico sin el agregado de fertilizantes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Se puede observar en la figura 19, que el efecto del inoculante en secano es suficiente que no se encuentran diferencias con el riego de agua limpia no inoculado, esto no quiere decir que *A. brasilense* reemplace el riego, sino que este fue un año que tuvo suficientes lluvias impidiendo que el cultivo tenga un stress hídrico importante, seguramente si el cultivo hubiera sufrido de ese stress se encontrarían diferencias de producción con el ensayo no regado.

La interacción del inoculante con el agua residual, produjo un aumento del rendimiento con respecto al testigo de más del 100%, observándose que los nutrientes que contiene dicha agua no afectaron negativamente a la acción del inoculante como los fertilizantes comerciales, pero la acción de ambos factores sobre el rendimiento fue por separado.

Por lo cual, para evidenciar mejores resultados de los efectos del inoculante, habría que realizar investigaciones en lugares con limitantes de producción mucho mayores que los que se encuentran en la región donde fue llevado a cabo el ensayo.

CALCULOS DE INFILTRACION DEL AGUA EN EL SUELO

Mediante las ecuaciones correspondientes según Kostiakov (1932), fue posible modelar el comportamiento que tendría el agua en el suelo determinando así la lámina acumulada para distintos estadios. En la Figura 20 y 21, se presenta la curva de lámina acumulada y de velocidad de infiltración en el tiempo obtenida para la fecha 05/01/07, en el estadio R1. Estos ensayos fueron realizados para agua residual tratada.

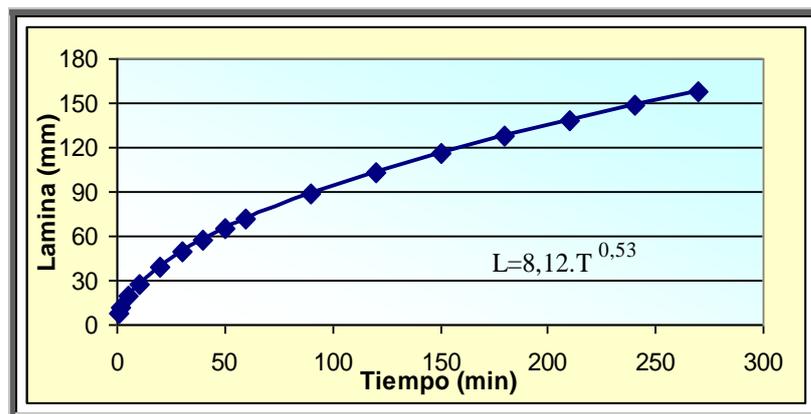


Figura 20: Lámina acumulada en el tiempo en el estadio R1. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

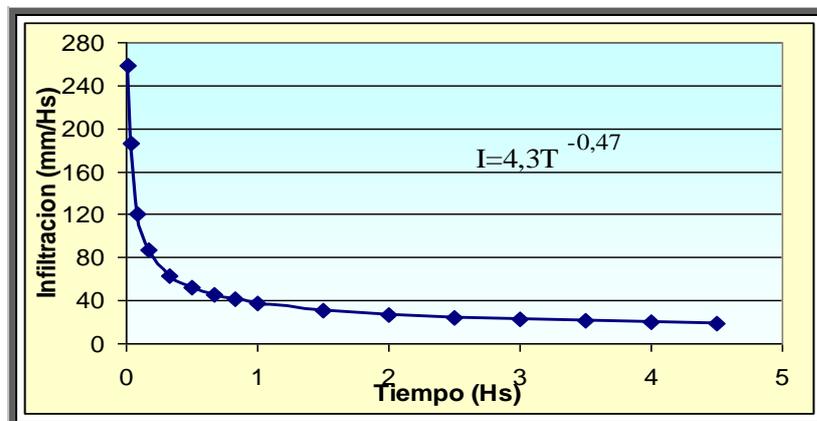


Figura 21: Velocidad de infiltración de agua en el suelo en el estadio R1. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

De acuerdo al modelo de infiltración propuesto por Grassi (1988), la infiltración básica (I_b) es de $18,2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. La metodología de cálculo fue la siguiente:

$$\text{Infiltración básica} = a \cdot (-600 \cdot b)^b$$

donde a es igual a $4,3$ y b es $-0,47$ de la fórmula de infiltración en la Figura 21.

La figura 22 y 23 muestra los mismos resultados para la fecha 31/01/07, en el estadio R3 del cultivo. La infiltración básica para este momento es de $25 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

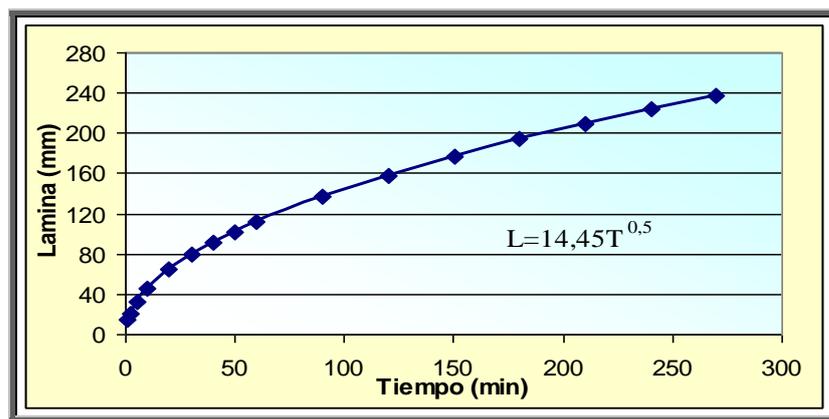


Figura 22: Lámina acumulada en el tiempo del 31/01/07, Estadio R3. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

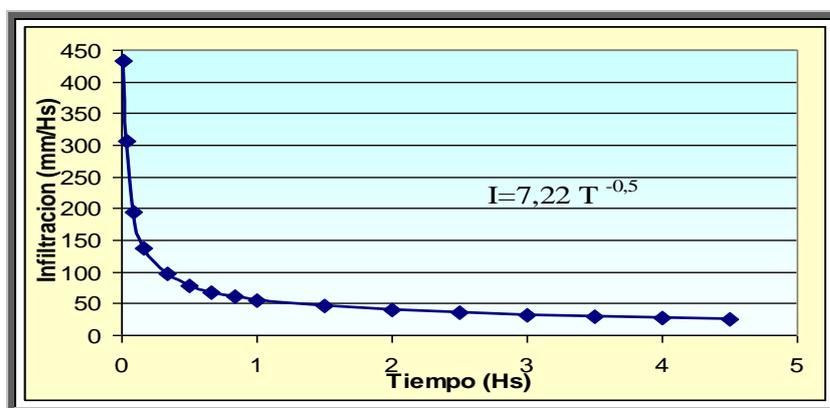


Figura 23: Velocidad de infiltración de agua en el suelo del 31/01/07 Estadio, R3. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Para la fecha 19/02/07, que corresponde al estado fonológico R4, la infiltración básica es de $23,7 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Los resultados del ensayo de infiltración se presentan en las figuras 24 y 25:

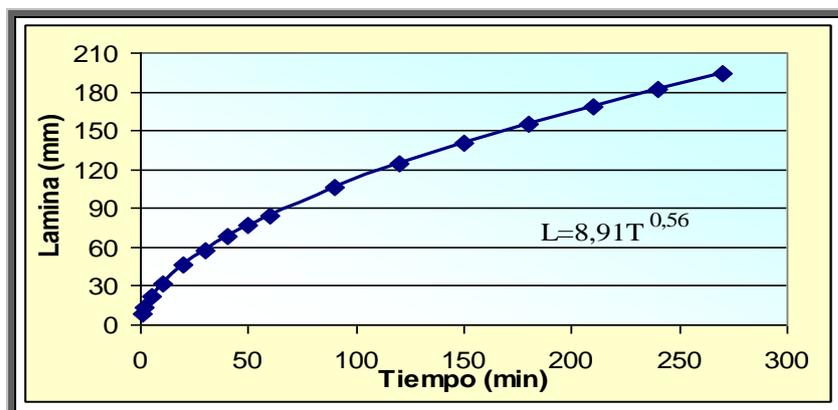


Figura 24: Lámina acumulada en el tiempo del 19/02/07, Estadio R4. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

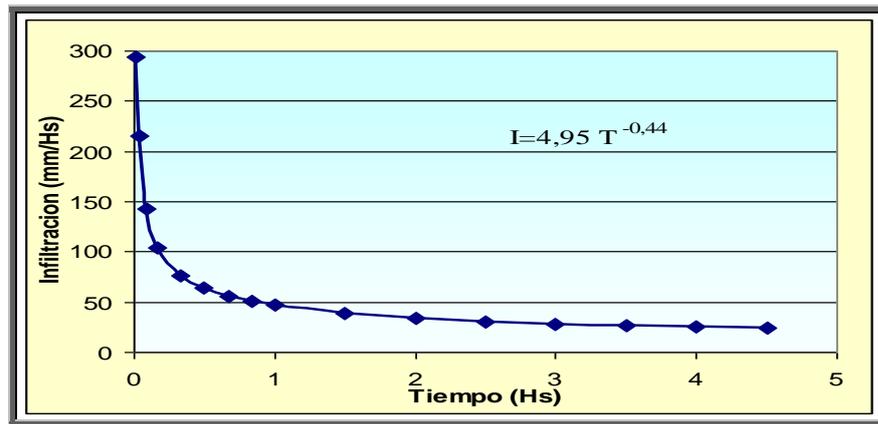


Figura 25: Velocidad de infiltración de agua en el suelo del 19/02/07 Estadio, R4. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Según Landon (1984), estas velocidades de infiltración son de una magnitud moderada y serían adecuadas para el riego por superficie.

La tasa de infiltración de agua en el suelo determina la rapidez de infiltración del agua en el mismo y como consecuencia, el volumen de agua que escurre sobre la superficie. Cuando la tasa de infiltración es baja, la disponibilidad de agua en la zona de las raíces puede ser limitante y la mayor parte de la misma se pierde por escorrentía.

En los tres casos, se tiene una tasa de infiltración final relativamente alta no generando déficit en la zona radical, y la pérdida de agua por escorrentía no es tan importante. La principal causa de que este suelo tenga ese nivel de infiltración, es debido a la historia de uso del lote, sólo tiene como antecesor un maíz, antes del mismo se trataba de un suelo virgen. También interviene el sistema de labranza utilizado que puede aumentar la tasa de infiltración, y la elevada cantidad de rastrojo dejado por el maíz antecesor (Figura 29 anexo).

Se pudo observar, que el riego con agua residual tratada no afecta a la porosidad del suelo, debido a que no hubo una disminución de la infiltración de agua en el suelo con el tiempo, comprobado mediante el cálculo de la infiltración básica.

Estas tasas de infiltración es difícil de encontrar en un suelo productivo de la región, debido a la falta de rotación con cultivos gramíneas, como también con un sistema ganadero donde se incorporen cultivos perennes, mejorando la estructura y fertilidad de los suelos. La materia orgánica incorporada al suelo mejora la estabilidad de los agregados; las raíces crean vías favorables para la entrada de agua, y cuando mueren se descomponen, dejando macroporos y pequeñas galerías; la capa de residuos sobre el suelo aumenta la rugosidad del mismo y disminuye la velocidad de la escorrentía superficial; y las lombrices, topes y otra fauna edáfica también contribuyen notablemente a la formación de galerías, macroporos, por donde puede circular con facilidad el agua dentro del suelo.

EVOLUCIÓN HÍDRICA DEL PERFIL DEL SUELO

En la Figura 26 se puede observar el comportamiento hídrico del perfil del suelo, donde el contenido de humedad solo superó una vez la barrera del umbral de riego (30% de capacidad de campo), que fue en la fecha 21/01/07.

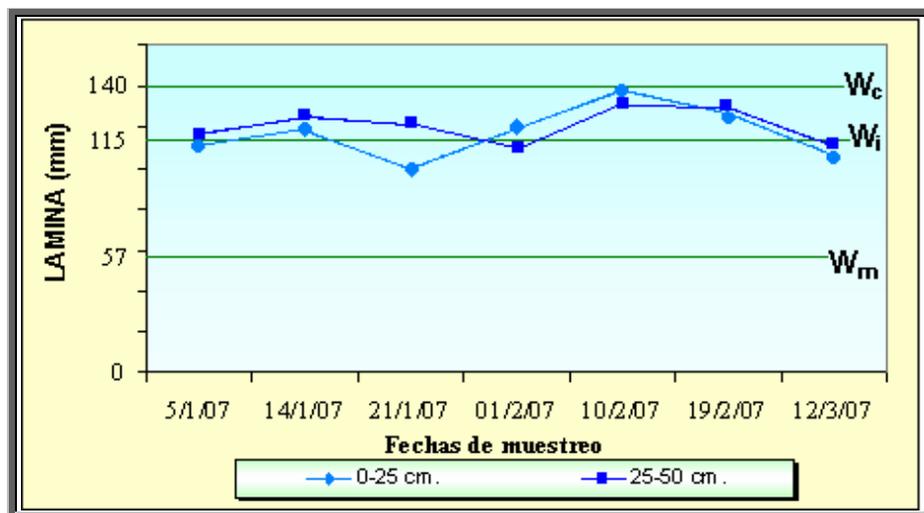


Figura 26: Evolución hídrica del perfil del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

La lámina neta aplicada fue de 135mm en cuatro riegos (23/11; 05/01; 21/01; 01/02), considerando una eficiencia de aplicación del 75%. El riego perteneciente a la fecha del 23/11, fue el día en que se colocó el sistema y se hizo una prueba de funcionamiento durante diez minutos.

Durante el ciclo del maíz la precipitación efectiva fue de 648mm, siendo este un año con abundantes lluvias, suficientes que no generaron un déficit hídrico importante (Balance hidrológico, Figura 27 anexo), donde el comportamiento hídrico del perfil del suelo, muy rara vez supero un desecamiento mayor al 30% desde el punto de vista del consumo. Por ello, la importancia que tuvo el riego en el ensayo, fue mínimo.

CONCLUSION

- La inoculación con *Azospirillum brasilense* del cultivo de maíz, produjo en términos generales una respuesta positiva en la mayoría de los parámetros evaluados.
- El parámetro biomasa radical y aéreo a los 60 y 100 días post-siembra presentó un incremento en la producción a favor de los tratamientos inoculados.
- El rendimiento se vio favorecido para la inoculación, presentando diferencias estadísticas sólo cuando se lo analiza sin el agregado de fertilizantes en los tres ambientes diferentes: secano, riego con agua de perforación, y riego con agua residual tratada.
- A medida que aumenta la dosis de fertilizante, el efecto del inoculante disminuye hasta desaparecer en dosis altas.
- No se encontró interacción entre la bacteria *Azospirillum brasilense* y el aporte de agua residual tratada, para ninguno de los parámetros evaluados en el ensayo, es decir, que ambas variables provocaron respuestas en el cultivo, actuando independientemente.
- *A. brasilense* permite un ahorro de fertilizantes de hasta el 50%.
- La aplicación de agua residual tratada mediante el riego por surco, produjo diferencias estadísticas en todos los parámetros evaluados, con incrementos en el rendimiento que permiten ahorrar el 100% de fertilizantes comerciales.
- A medida que aumenta la dosis de fertilizante, tiene un efecto positivo sobre el incremento del rendimiento.
- El riego por surcos, no afectó la tasa de infiltración del suelo.

BIBLIOGRAFIA

- AMORÓS, I.; J. L. ALONSO and I. PERIS. 1989. **Study of microbial quality and toxicity of effluents from two treatment plants used for irrigation.** Water Sci. Tech. 21: 243-246.
- BARRIOS, S., A. POTENZA and M.V. LÓPEZ. 1986. **Utilización del *Azospirillum* (diazotrofo rizosférico) en el triticultivo.** In: Actas del Primer Congreso Nacional de AIANBA. Pergamino, Argentina, 6-10 de Octubre. En: Ferraris G. y L. Couretot. 2006. **Evaluación del efecto de la inoculación con *Azospirillum brasilense* sobre el rendimiento del trigo en diferentes ambientes del norte de la provincia de Bs. As. campaña 2004/05. Proyecto Regional Agrícola.** Desarrollo rural INTA Pergamino. <http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext05/Azospirillumred.pdf>
Consultado: 27/09/08.
- BASHAN, Y. and H. LEVANONY. 1990. **Currents status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture.** Can. J. Microbiol. 36: 591-608.
- BASHAN, Y. 1999. **Interactions of *Azospirillum* spp in soils: a review.** Biol Fertil Soils. 29:246-256.
- BELLONE C. H.; S. CARRIZO DE BELLONES; M. A. JAIME; A. M. MANLLA; M. A. MONZON DE ASCONEGUI. 1999. **Respuesta de dos cultivares de maíz a la inoculación con distintos aislamientos de *Azospirillum* spp.** II Reunión Científico Técnica de Biología de Suelo-Fijación de Nitrógeno. Universidad Nacional de Catamarca, facultad de Ciencias Agrarias.
- BODDEY R. M.; J. BALDANI and J DÖBEREINER. 1986. **Effect of inoculation of *Azospirillum* spp. On nitrogen accumulation by field-grown wheat.** Plant an soil 95: 109-121. Publicado en The Netherlands.
- BODDEY R. M. and J. DÖBEREINER. 1988. **Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent results and perspectives for future research.** Kluwer Academic Publisher. Plant and Soil 108: 53-65.
- BOUWER, H. y E. IDELOVITCH. 1987. **Quality requirements for irrigation with sewage water.** J. Irrig. & Drainage Eng. 113: 516-535.
- □BURDMAN, S.; Y. OKON and E. JURKEVITCH. 2000. **Surface Characteristics of *Azospirillum brasilense* in Relation to Cell Aggregation and Attachment to Plant Roots.** Critical Reviews in Microbiology 26 (2): 91-110.

- □ BURDMAN, S.; G. DULGUEROVA; Y. OKON and E. JURKEVITCH. 2001. **Purification of the Major Membrane Protein of *Azospirillum brasilense*, Its Affinity to Plant Roots, and Its Involvement in Cell Aggregation.** The American Phytopathological Society. Vol 14, n° 4 pp: 555-561.
- CABALLERO-MELLADO, J. 2002. **El genero *Azospirillum*.** Programa de ecología molecular microbiana. Centro de investigación sobre fijación de nitrógeno, UNAM. México.
- CABALLERO-MELLADO, J.; S. TENORIO-SALGADO; J. ONOFRE-LEMUS; R. CASTRO-GONZÁLES; P. ESTRADA-DE LOS SANTOS; G. PAREDES-VALDEZ; R. DÍAZ; L. MARTINEZ-AGUILAR. 2006. Uso de *Azospirillum* en México y potencial agrobiotecnológico de nuevos diazótrofos del genero *Burkholderia*. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo:** 16-18. Salta-Jujuy, Argentina.
- CEREZO, M., L. LAPEÑA y P. GARCÍA-AGUSTÍN. 1995. **Desarrollo vegetativo de cítricos (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) regados con agua residual urbana depurada.** En: "Avances en la Investigación en la Zona no Saturada". I. Antigüedad (ed). Serv. Central Public. Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.
- CRESPI, R. 2003. Riego subterráneo con aguas residuales tratadas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- CRESPI, R.; C. RODRÍGUEZ; O. PLEVICH; L. GROSSO; M. BOSSOLASCO; C. FRIGERIO; S. BETTERA; A. THUAR; J. BOEHLER; J. PUIATTI; O. BAROTTO; M. DEMAESTRI; A. RICOTTO; D. RAMOS y D. PICCA. 2005. **Tratamiento y reutilización de aguas residuales domiciliarias.** Conagua 2005. Mendoza. Argentina.
- CRESPI R. 2006. **“Tratamiento y reutilización de aguas residual urbanas”.** I Congreso Internacional de Gestión y Tratamiento del Agua. PRODTI-UNC. Córdoba. Argentina.
- CRESPI, R.; O. PLEVICH; A. THUAR; L. GROSSO; C. RODRIGUEZ; D. RAMOS; O. BAROTTO; M. SARTORI; M. COVINICH y J. BOEHLER. 2007. **Manejo de aguas residuales urbanas.** Conagua 2007. Trabajo presentado y aprobado para su exposición en Tucumán. Argentina.
- DÍAZ-ZORITA, M. y M. V. FERNANDEZ CANIGIA. 2007. **Análisis de la producción de cereales inoculados con *Azospirillum brasilense* en la Republica Argentina.** XI Congreso Argentino De Microbiología. Córdoba. Argentina.
- ETCHEVEHERE, P.H. 1976. **Normas de reconocimiento de suelos.** 2° Ed. INTA. Dpto. de suelos. Castelar.

- FALLIK, E., S. SARIG and Y. OKON. 1988. **Morphology and physiology of plant root associated with *Azospirillum***. In: *Azospirillum-Plant Associations* (Y. Okón, Ed), pp 77-86. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- FALLIK, E. and Y. OKON. 1996. **Inoculants of *Azospirillum brasilense*: Biomass production, survival and growth promotion of *Setaria italica* and *Zea mays***. *Soil Biol. Biochem* pp. 123-126.
- FORNASERO, L. V.; M. A. TONIUTTI; S. P. GAMBAUDO y H. A. MICHELOUD. 2001. ***Azospirillum* y *Azorhizobium* : su efecto sobre el rendimiento del cultivo de maíz**. III Reunión Nacional Científico Técnica de Biología del Suelo y III Encuentro sobre Fijación Biológica de Nitrógeno. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Julio 2001.
- FUENTES-RAMIREZ, L.E., and J. CABALLERO-MELLADO. 2006. **Bacterial Biofertilizers**. Chapter 5th, Pp. 143-172. In: *PGPR: Biocontrol and biofertilization*. Z.A. Siddiqui (ed). Springer Science. Dordrecht, the Netherlands.
- GALAL, Y.G.M.; I.A. EL-GHANDOUR; S.S ALY; S. SOLIMAN and A. GADALLA. 2000. **Non-isotopic method for the quantification of biological nitrogen fixation and wheat production under field conditions**. *Biol Fertil Soil* 32:47-51.
- GIACHERO, L. y A. THUAR. 2004. **Inoculación con *Azospirillum Brasilense* en cultivo de ajo (*Allium Sativum L.*)**. Ensayo a campo. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Biblioteca de Universidad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- HOFFMAN, E; S. MAZZILLI and P. MESA. 2007. **Evaluación de la respuesta al uso de Graminsoil-L (*Azospirillum brasilense*) en maíz**. Departamento Técnico de Unicampo Uruguay SRL- Unidad de investigación y desarrollo. Paysandú, Uruguay. [http://www.fiagro.org.sv/systemFiles/UNICAMPO%20INFORME%20GRAMINOSO IL%20-L%20MAIZ%202006-2007.pdf](http://www.fiagro.org.sv/systemFiles/UNICAMPO%20INFORME%20GRAMINOSO%20IL%20-L%20MAIZ%202006-2007.pdf)
- KARPAT, E.; P. KISS; T. PONYI; I. FENDRIK; M. ZAMAROCZY and L. OROSZ. 1999. Interaction of *Azospirillum lipoferum* with wheat germ agglutinin stimulates nitrogen fixation. *J. Bacteriol.* 181; 3949-3955.
- KLOEPPER J.; M. SHROTH and T. MILLER. 1980. **Effects of rizosphere colonization by Plant Growth Promoting Rhizobacteria on potato plant development and yield**. *Phytopathol.* 70: 1078-1082.
- KOSTIAKOV A. N. 1932. **On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity in from a dynamic point of view for purposes of amelioration**. *Trans. 6th Comm.internl. Soil. Sci. Soc., Russian Part A:* 17-21.

- LÆGREID, M.; O. BØCKMAN and KAARSTAD. 1999. **Agriculture, fertilizers and environment**. Cabi publishing in association with Norsk Hydro ASA, UK.
- LANDON, J. 1984. **Tropical Soil Manual. Booker Agriculture**. International Limited. Londres. 450 p.
- MARECOS DO MONTE, M. H. y SOUSA, M. E. S. 1991. “**Irrigação do milho, girassol e sorgo com efluentes de tratamento primario e secundario de águas residuais urbanas**”, II Seminário Luso-Espanhol de Estruturas Rurais, Madrid, España.
- MASCARÚA, E.; M. CARRAÑO; C. MONTIEL and CABALLERO M.. 1994. **Biofertilización en maíz con *Azospirillum brasilense***. Resúmenes XV. Reunión Latinoamericana de Rizobiología. La Habana pp. 111.
- MOSCOSO J. and LEON G. (1994). **Uso de aguas residuales en agricultura**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima. <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt059.html>
- OKON, Y. 1985. **Azospirillum as a potential inoculant for agriculture**. Trends in Biotechnology. p.p. 223-228.
- OKON, Y. and C. A. LABANDERA-GONZALEZ. 1994. **Agronomic Applications of Azospirillum: and evaluation of 20 years worldwide field inoculation**. Soil Biology and Biochemistry 26, 1591-1601.
- O’SULLIVAN D. and F. O’GARA. 1992. **Traits of fluorescent *Pseudomonas spp.*** Involved in suppression of plant root pathogens. Microbiol. Rev. 56: 662-676.
- PIAO C.; W. TANG and Y. CHIEN. 1992. **Study on the biological activity of Yield-Increasing Bacteria**. Chin J. Microbiol. 4: 55-62.
- PRATA NEVES, M. C. y GOMES DA SILVA D. 2002. **Uma Introdução á Agricultura Orgânica**. EMBRAPA Agrobiología. Brazil. <http://www.cnpab.embrapa.br/educacao/baby/azospiri.html>. Consultado: 17/09/08.
- RAMOS, C., D. GÓMEZ DE BARREDA, J. OLIVER, E. LORENZO y J.R. CASTEL. 1989. **Aguas residuales para riego. Un ejemplo de aplicación en uva de mesa**. En: “*El Agua en la Comunidad Valenciana*” E. Cabrera y A. Sahuquillo (eds), pp. 167-184. Generalitat Valenciana.
- RAMOS, C. 1996. **El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos**. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. <http://www.ediho.es/horticom/fitech3/ponencia/text/cramos.html>. Consultado: 09/10/08
- RICHARDS, L.A. 1965. Physical conditions of water in soil. En: Black, C.A. (Ed.) Methods of soil analysis Part I. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp 128-152.

- RODRIGUEZ CACERES, E. D.; C. DI COCO y J. C. PACHECO BASURCO. 1996. **Influencia de la inoculación con *Azospirillum brasilense* en trigo cultivado en un suelo de la Provincia de La Pampa, Argentina.** Ciencia del suelo. 14: 110-112.
- RODRÍGUEZ CÁCERES, E., G. GONZÁLES ANTA, J. LÓPEZ, C. DI CIOCCO, J. PACHECO BASURCO and J. PARADA. 1994. ***Azospirillum brasiliense* and *Bacillus polymyxa* inoculation in yield response of field grown wheat in an Argentine semiarid region.** Arid Soil Research and Rehabilitation. En: Ferraris G. y L. Couretot. 2006. **Evaluación del efecto de la inoculación con *Azospirillum brasilense* sobre el rendimiento del trigo en diferentes ambientes del norte de la provincia de Bs. As. campaña 2004/05. Proyecto Regional Agrícola.** Desarrollo rural INTA Pergamino. <http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext05/Azospirillumred.pdf>
Consultado: 27/09/08.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. ***Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture.** Handbook n°18.
- SONESSON, U.; A. BJOR KLUND; M. CARLSSON and M. DALEMO. 1999. Environmental and economic analysis of management systems for biodegradable waste. Elsevier. Resources, Conservation and Recycling 28 (2000) 29-53.
- TANJI, K.K. 1997. Irrigation with marginal quality waters: Tissues. Journal of Irrig. And Drain. Eng. Vol 123 (3), pp. 165-169.
- THUAR, A. y Y. SALVAGNO. 2003. **Efectos de la promoción del crecimiento en un cultivo de maíz con bacterias simbióticas y de vida libre.** Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC. Córdoba. Argentina.
- TONIUTTI, A. y S. DACCARO. 2001. **Inoculación con *Azospirillum Brasilense* en el cultivo de Maíz.** Universidad Nacional del Litoral, Cátedra de Diagnóstico Y Tecnología de Tierras - Área Microbiología Agrícola. http://www.universia.com.ar/contenidos/investigacion/unl/C_APLICADAS/agropecuaria/253.htm Consultado: 21/09/08.
- TROSTLE R. 2008. **Global Agricultural Supply and Demand: Factors Contributing to the Recent Increase in Food Commodity Prices.** USDA's World Agricultural Outlook Board. <http://www.3tres3.com/buscando/ficha.php?id=2350>. Consultado: 17/12/08.
- VENTIMIGLIA, L., H. CARTA y S. RILLO. 1999. **Efecto del *Azospirillum* sp sobre el rendimiento de Trigo.** Resultados de experiencias, campaña 1998/99. UEEA 9 de Julio, INTA. Pp34-38.

- WANI, S. 1990. **Inoculation with associative nitrogen fixing bacteria: Role in cereal grain production improvement.** Indian. J. of Microbiology, 30: 363-370.

ANEXOS

Tabla 13: Precipitaciones medias mensuales desde el año 1995 al año 2006. Río Cuarto-Córdoba.

Meses/Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Prom.
Enero	159	139	76	175	87	194	109	93	119	147	270	116	140,3
Febrero	85,2	146	61	148	5	64	2	63	32	84	162	103	79,6
Marzo	61,5	40	65	73	216	71	198	92	46	126	82	93	97,0
Abril	11	65	30	135	108	112	127	85	117	43	56	113	83,5
Mayo	29	6	6	78	2	88	0	12	4	202	15	2	37,0
Junio	33	4,5	16	15	12	12	15	2	1	0	2	8	10,0
Julio	3	0	7	3	15	19	8	4	37	35	15	1	12,3
Agosto	0	0	13	9	19	1	19	38	1	10	11	0	10,1
Septiembre	14	36,5	26	28	25	13	36	1	0	0	13	6	16,5
Octubre	38	20	82	36	102	91	130	103	8	93	70	71	70,3
Noviembre	143	86	145	162	117	93	24	278	22	48	92	166	114,6
Diciembre	85,5	107	212	111	232	65	54	126	214	132	41	160	128,3

Tabla 14: Temperaturas medias mensuales desde el año 1995 al año 2006. Río Cuarto-Córdoba.

Meses/Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Prom.
Enero	21,75	22,06	24,25	21,61	20,86	22,13	23,06	22,13	23,16	23,72	22,41	23,94	22,59
Febrero	20,60	20,29	21,88	18,81	23,56	21,20	25,32	21,16	22,04	20,35	21,39	21,10	21,48
Marzo	20,40	20,9	20,5	18,2	19,2	18,5	20,7	19,8	20,6	20,6	19,2	19,10	19,80
Abril	17,18	16,1	18,5	14,8	14,4	16,6	15,6	15,8	15,8	16,2	14,5	16,83	16,02
Mayo	14,27	14,6	15	12,8	12,7	11,6	12	13,6	12,8	9,67	11,9	10,85	12,65
Junio	9,19	8,44	9,86	9,77	8,85	10,2	9,22	8,89	11,1	9,68	10,3	10,72	9,68
Julio	8,47	9,18	11,5	11,1	8,76	8,53	8,82	9,67	8,45	8,97	9,7	11,01	9,51
Agosto	10,13	13,3	12,4	10,8	11,9	9,88	11,9	11,5	9,74	10,8	10,6	11,12	11,16
Septiembre	15,07	12,8	14,4	12,2	15,1	13,4	12,7	14,2	14,6	14,3	12,8	14,8	13,85
Octubre	17,30	18	15,8	18,8	16,4	16,8	16,9	17,9	19,5	16,9	16,7	19,1	17,51
Noviembre	20,87	20,5	19	18,4	18,8	18,1	19,1	20,4	22,1	19,4	21,1	20,1	19,82
Diciembre	24,47	22,5	20,9	21,2	20,6	22	22,9	20,9	20,8	21,6	22,4	22,8	21,92

Tabla 15. Temperaturas medias mensuales (°C) y precipitaciones mensuales (mm) para el periodo mayo 2006 – abril 2007. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

MESES	Temp. media mensual	Precipitación mensual
abr-06	16,83	113,0
may-06	10,85	2,0
jun-06	10,73	8,0
jul-06	11,02	1,0
ago-06	11,12	0,0
sep-06	14,77	6,0
oct-06	19,07	71,0
nov-06	20,07	166,0

dic-06	22,82	160,0
ene-07	21,88	169,0
feb-07	21,01	155,0
mar-07	19,25	86,0
abr-07	18,59	9,0

Tabla 16: Balance Hidrológico para la ciudad de Río Cuarto. Periodo abril/2006-abril/2007. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

PARAMETROS	MESES												
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A
EP	55	24	21	22	27	46	83	94	126	115	92	80	65
P	113	2	8	1	0	6	71	166	160	169	155	86	9
P-EP	58	-22	-13	-21	-27	-40	-12	72	34	54	63	6	-54
s- (P-EP)		-22	-35	-56	-83	-123	-135						-54
Alm.	300	278	267	248	227	198	191	263	297	300	300	300	249
D Alm.	51	-22	-11	-19	-21	-29	-7	72	34	3	0	0	-51
ER	55	24	19	20	21	35	78	94	126	115	92	80	60
Exceso	7	0	0	0	0	0	0	0	0	51	63	6	0
Déficit	0	0	2	2	6	11	5	0	0	0	0	0	5

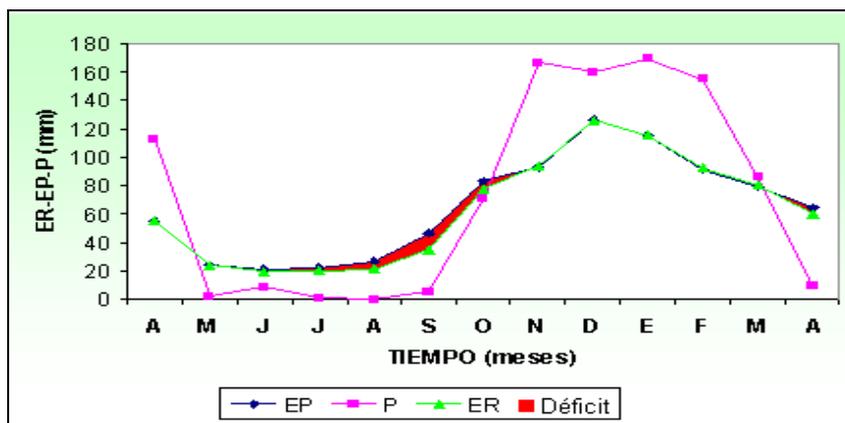


Figura 27: Balance hidrológico. Periodo abril/06-abril/07. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.



Figura 28: Riego con aspensor móvil antes de la siembra. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

Tabla 17: Determinaciones analíticas del agua residual. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Determinaciones	Unidades	Valor
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	252,00
pH		7,82
Conductividad Eléctrica	dS/m	1,13
Turbiedad	FAU	263,50
Nitrógeno total	mg/L	108,5
Fósforo Total	mg/L	8,1
Alcalinidad carbonatos	mg/L	< 1
Alcalinidad total	mg/L	350,00
Hierro	mg/L	1,30
Litio	mg/L	No detectable
Boro	mg/L	0,14
Cromo	mg/L	0,04
Magnesio	mg/L	11,60
Manganeso	mg/L	0,08
Níquel	mg/L	No detectable
Potasio	mg/L	16,00
Plomo	mg/L	No detectable
Selenio	mg/L	No detectable
Aluminio	mg/L	0,99
Arsénico	mg/L	0,017
Cadmio	mg/L	0,00014
Zinc	mg/L	0,11
Cobalto	mg/L	No detectable
Cobre	mg/L	No detectable
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	113
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	265



Figura 29: Rastrojo del cultivo antecesor. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.



Figura 30: Obtención de muestras para el cálculo de Densidad Aparente. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Tabla 18: Rendimientos obtenidos en el ensayo del ciclo 2006/2007.

TRATAMIENTO	Rend. qq/ha
Secano Inoculado Dosis: 0%	71,1
Secano Inoculado Dosis:70%	88,8
Secano Inoculado Dosis:100%	95,5
Secano No Inoculado Dosis: 0%	58,2
Secano No Inoculado Dosis:70%	84,6
Secano No Inoculado Dosis:100%	97,9
Agua Limpia Inoculado Dosis: 0%	90,0
Agua Limpia Inoculado Dosis:70%	104,5
Agua Limpia Inoculado Dosis:100%	115,1
Agua Limpia No Inoculado Dosis: 0%	72,9
Agua Limpia No Inoculado Dosis:70%	95,2
Agua Limpia No Inoculado Dosis:100%	114,5
Agua Tratada Inoculado Dosis: 0%	121,1
Agua Tratada Inoculado Dosis:70%	113,0

Agua Tratada Inoculado Dosis:100%	110,1
Agua Tratada No Inoculado Dosis: 0%	107,3
Agua Tratada No Inoculado Dosis:70%	101,2
Agua Tratada No Inoculado Dosis:100%	114,6