



Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Agronomía y Veterinaria



***Trabajo final presentado para
optar al grado de Ingeniero Agrónomo***

***“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA PROLONGADA BAJO
SIEMBRA DIRECTA SOBRE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA,
PRODUCCION DE MATERIA
SECA Y RENDIMIENTO DE MAÍZ.”***

**Alumno
PEREZ, Nicolás Alfredo
DNI: 31.710.342**

Director
Ing. Agr. Esposito Gabriel

Codirector
Ing. Agr. Castillo Carlos

Río Cuarto _ Córdoba
Octubre de 2008

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: **EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA BAJO SIEMBRA DIRECTA SOBRE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA, PRODUCCION DE MATERIA SECA Y RENDIMIENTO DE MAÍZ**

Autor: Pérez Nicolás Alfredo

DNI: 31710342

Director: Gabriel Esposito

Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias del Jurado Evaluador:

(Nombres)

Fecha de Presentación: / /

Aprobado por Secretaría Académica: / /

Secretario Académico

Agradecimientos

- Quiero agradecer principalmente a mis padres por todo su apoyo durante toda la carrera.

- A todos los profesores que participaron en mi formación como profesional.
- A mi director de tesis, por haberme orientado en la realización de este trabajo.
- A mis amigos y compañeros de la carrera por todo su apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	8
SUMMARY.....	9
<u>I. INTRODUCCIÓN.....</u>	10
1. 1. <i>Hipótesis:</i>	12
1.2. <i>Objetivos:</i>	12
<u>1. 2. 1.</u> Objetivos específicos.....	12
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
II. 1. <i>Área experimental</i>	12
II. 2. <i>Descripción del suelo bajo estudio</i>	13
II. 3. <i>Descripción morfológica del perfil</i>	13
II. 4. <i>Diseño Experimental</i>	15
II. 5. <i>Determinaciones realizadas</i>	16
II. 5. 1. Cantidad de rastrojo en superficie	16
<u>II. 5. 2.</u> Grado de cobertura con rastrojo en superficie:	16
<u>II. 5. 3.</u> Fenología del cultivo:	16
<u>II. 5. 4.</u> Materia seca total de la parte aérea:	16
<u>II. 5. 5.</u> Rendimiento y componentes:	17
<u>II. 5. 6.</u> Intercepción de la radiación (IR):	17
<u>II. 5. 7.</u> Eficiencia en el uso de la radiación:	18
<u>II. 5. 8.</u> Peso específico aparente	18
<u>II. 5. 9.</u> Humedad gravimétrica:	18
<u>II. 5. 10.</u> Lámina de agua:	19
<u>II. 5. 11.</u> Incidencia de enfermedades:	19
<u>II. 5. 12.</u> Eficiencia de uso del agua:	19
<u>II. 6.</u> <i>Descripción del modelo SWB</i>	20
II. 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
III. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	23

<u>III. 1</u>	<i>.Información climática</i>	23
<u>III .2</u>	<i>.Temperaturas</i>	23
<u>III. 3.</u>	<i>Precipitaciones</i>	24
<u>III. 4.</u>	<i>Radiación solar global</i>	24
<u>III. 5.</u>	<i>Sanidad del cultivo</i>	25
<u>III. 6.</u>	<i>Fenología</i>	26
<u>III. 6. 1.</u>	<i>Fenología del cultivo</i>	26
<u>III. 7.</u>	<i>Balance hídrico del cultivo de maíz</i>	27
<u>III. 7. 1.</u>	<i>Calibración del Modelo Soil Water Balance (SWB)</i>	27
<u>III. 7. 2.</u>	<i>Validación del SWB</i>	30
<u>III. 8.</u>	<i>Evaporación y transpiración</i>	31
<u>III. 9.</u>	<i>Balance hídrico</i>	32
<u>III. 10.</u>	<i>Eficiencia en el uso del agua (EUA)</i>	34
<u>III. 11.</u>	<i>Eficiencia en el uso de la radiación</i>	36
III. 11. 1.	<i>Radiación fotosintéticamente activa interceptada por la cubierta vegetal (RFAi)</i>	36
<u>III. 12.</u>	<i>Producción de biomasa</i>	38
<u>III. 13.</u>	<i>Rendimiento</i>	39
<u>III. 14.</u>	<i>Rendimiento y producción de materia seca</i>	40
<u>III. 15.</u>	<i>Tasa de crecimiento del cultivo y EUR</i>	41
<u>III. 16.</u>	<i>INTEGRACION DE VARIABLES</i>	44
IV.	Conclusiones	45

INDICE DE CUADROS

Cuadro	1.	Descripción	del	perfil	del	suelo.....
Cuadro	2	.Cantidad de rastrojo y % de cobertura con rastrojo de la superficie del suelo. Evaluaciones realizadas previo a la siembra del cultivo de maíz.....				
Cuadro	3.	Densidad aparente encontrada en cada una de las parcelas.....				
<u>Cuadro</u>	4.	Incidencia de mal de Río Cuarto en maíz AX 882 IT. La aguada, Córdoba.....				
Cuadro	5,	Fecha de ocurrencia de estadios fonológicos (maíz AX 882 IT).....				
Cuadro	6:	Suma térmica y lluvias en el cultivo de maíz, campaña 2006-2007. La Aguada, Río cuarto, Córdoba.....				
..						
Cuadro	7.	Parámetros utilizados para la calibración del modelo SWB.....				
Cuadro	8,	Índices de ajuste del modelo SWB.....				
Cuadro	9.	Valores de transpiración, evaporación y escurrimiento simulado para cada tratamiento y su repetición.....				
Cuadro	10,	transpiración, evaporación y escurrimiento, parcelas con fertilización y sin fertilización.....				
Cuadro	11.	Eficiencias en el uso del agua transpirada y evapotranspirada para la producción de materia seca.....				
Cuadro	12.	Eficiencia en el uso del agua para la producción de grano.....				
Cuadro	13.	RFAi acumulada entre estadio fenológico.....				

Cuadro 14, Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) por estadio fenológico.....

Cuadro 15, EUR durante el periodo crítico del cultivo.....

Cuadro 16, Producción de biomasa acumulada por estadio fenológico de maíz (AX 882), según tratamiento. Campaña 2006-2007. La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.....

.

Cuadro 17, Rendimiento y componentes directos de un maíz (AX 882 IT) fertilizado y sin fertilizar, campaña 06-07, La Aguada, Córdoba.....

Cuadro 18, Tasa de crecimiento del cultivo por estadio fenológico, La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.....

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 .Plano del ensayo.....

Figura. 2. Temperaturas normales para el período 1993-2007 y campaña 06-07.....

Figura 3. Precipitaciones normales y de la campaña 06-07, La Aguada, RíoCuarto, Córdoba

Figura 4. Radiación global media y campaña 06-07,La Aguada, RíoCuarto, Córdoba

Figura 6, calibración del modelo, valores simulados y observados para el tratamiento fertilizado, para producción de materia seca total.

Figura 7, calibración del modelo de simulación para el tratamiento fertilizado, para lámina total de agua.

Figura 8, calibración del SWB, para valores de materia seca total.

Figura 9, Valores observados y simulados de lámina de agua total en la parcela sin fertilizar utilizada para la calibración del SWB.

Figura 10, valores simulados de transpiración y evaporación de los tratamientos fertilizados en línea continua y no fertilizada en línea de puntos.

Figura 11, radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) en función del % de interceptación de la radiación (%IR).

Figura.12. Rendimiento en función del número total de granos por m²

Figura 13, Rendimiento en función de la producción total de biomasa en R₆.

Figura 14. Tasa de crecimiento del cultivo en función de la Eficiencia en el uso de la radiación entre V_{13} - R_3 .

Figura 15. Número de granos por metro cuadrado en función de la Tasa de Crecimiento del Cultivo

Figura 16. Número de granos por metro cuadrado en función de la Radiación Fotosintéticamente Activa

Figura 17. Imagen tomada del ensayo el 12/02/07, en donde se aprecian los dos tratamientos.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el campo de experimentación y docencia de la U.N.R.C. (CAMDOCEX) "Pozo del Carril", ubicado en el paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, en donde se estableció un ensayo de maíz, a partir de este se recabó información mediante parámetros de medición de crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz, de allí que el propósito de la presente investigación consistió en evaluar y cuantificar los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia de uso del agua y la eficiencia en el uso de la radiación, para la producción de maíz. Para ello fue necesario evaluar cambios en la Eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR) como consecuencia de la fertilización nitrogenada, analizar como la fertilización nitrogenada modifico la relación transpiración-evaporación y finalmente sintetizar el comportamiento del sistema suelo – cultivo – atmósfera mediante el uso de un modelo de simulación numérica. El presente estudio se justificó por cuanto utilidad práctica estos conocimientos nos aportan en la comprensión y la utilización de herramientas para maximizar el uso de los recursos involucrados en la producción de granos. Metodológicamente el trabajo investigativo se aborda a partir del diseño experimental de bloques completamente aleatorizados con submuestras y 4 repeticiones, donde se utilizaron parcelas de 24,5 mts de ancho, por 70 mts de largo. Una vez establecido el cultivo del híbrido simple AX 882 de Nidera, el cual se sembró el 17 de Noviembre de 2006, se tomo muestras en diferentes estadios fenológicos (V_6 , V_9 , V_{13} , R_1 , y R_3) y los resultados obtenidos fueron analizados mediante ANAVA, test de separación de medias (DMS Fisher), utilizando el paquete de análisis estadísticos InfoStat 2004. El procesamiento de datos permitió determinar que la EUR fue siempre superior en las parcelas que recibieron fertilización, al igual que la EUA y que se registran un aumento en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) producto del aporte de nitrógeno por fertilización, aumentando la fijación de granos m^{-2} . en las parcelas fertilizadas se incrementó la proporción de la evapotranspiración representada por la transpiración lo que dio como resultado mayor producción de materia seca y de grano del cultivo. Lo que permitió llegar a las siguientes conclusiones: (a) La fertilización nitrogenada produjo una mayor eficiencia en el uso del agua y de la radiación, (b) una mayor EUA y EUR contribuyeron a aumentar la tasa de crecimiento del cultivo. (c) La mayor TCC arrojó un mayor número de granos por metro cuadrado, (d) como consecuencia de un mayor NG m^{-2} el rendimiento del

cultivo de maíz fue mayor en el tratamiento fertilizado comparado con el no fertilizado.

SUMMARY

This research was conducted in the field of experimentation and teaching of the UNRC (CAMDOCEX) Pozo del Carril, "located in a place Aguada, Departamento Río Cuarto, Córdoba Province, where a trial was conducted in maize, since this information was collected by measuring parameters of growth and development of the crop corn, hence the purpose of this investigation was to evaluate and quantify the effects of nitrogen fertilization on the efficiency of water use and efficiency in the use of radiation for the production of corn. It was necessary to evaluate changes in the efficiency of water use (USA) and efficiency in the use of radiation (EUR) as a result of N fertilization, N fertilization analyzed as a change in the relative transpiration, evaporation and finally summarize the behavior of soil - farming - environment by using a numerical simulation model. The present study was justified because practical knowledge we bring to the understanding and tools to maximize use of resources involved in the production of grains. Methodologically the research work is discussed from the experimental design of randomized complete block with 4 replicates and subsamples, where plots were 24.5 m wide, 70 meters long. Once the cultivation of hybrid simple Nidera AX 882, which was planted on November 17, 2006, took samples at different phenological stages (V6, V9, V13, R1 and R3) and the results were analyzed by ANAVA, mean separation test (Fisher DMS) using the statistical analysis package InfoStat 2004. Data processing revealed that the EUR was always greater in plots that received fertilizer, like the USA and that an increase in the rate of crop growth (CBT) product of the inputs of nitrogen fertilization, increasing the Fixing grains m⁻². in fertilized plots increased the proportion represented by the evapo-transpiration, which resulted in higher dry matter production and grain crop. What led to the following conclusions: (a) The nitrogen fertilization resulted in greater efficiency in water use and radiation, (b) increased U.S. and EUR contributed to increasing the rate of growth of the crop. (c) Most CBT showed a greater number of grains per square meter, (d) as a result of increased NG m⁻² crop yield of maize was higher in the fertilized treatment compared to non-fertilized.

Introducción

Uno de los objetivos en la agronomía es optimizar los rendimientos económicos de los cultivos permitiendo la sostenibilidad de la agricultura. El incremento de rendimiento de los cultivos está asociado al incremento en el uso de insumos, lo que representa un subsidio energético al sistema productivo. La incorporación de tecnología a los sistemas productivos requiere del conocimiento de la metodología de mayor respuesta a su aplicación con el fin de disminuir su impacto sobre el medio (Maturano, 2002).

En la producción de cultivos la fertilización es una práctica fundamental para el incremento de los rendimientos. En muchos sistemas de producción tanto el agua como el nitrógeno son limitantes para el cultivo del maíz (Cox *et al.*, 1993), por lo tanto, la optimización de ambos insumos producirá tanto mayores rendimientos y mejores resultados económicos.

Estudiar, entender y evaluar las consecuencias de la aplicación de tecnología, y su interacción con las diferentes condiciones ambientales (precipitaciones, características edáficas, etc.), es fundamental para poder identificar aquellas interacciones tendientes a lograr una mayor eficiencia en el uso de insumos, al tiempo que logren la conservación del ambiente, con el objetivo de optimizar el rendimiento económico de los cultivos (Maturano, 2002).

El desarrollo de los modelos de simulación, ha permitido dar una visión integrada del funcionamiento de los cultivos (Passioura, 1996). Normalmente, la estructura de un modelo de simulación está planteada a través de la interrelación de submodelos como, por ejemplo, lo son los de agua, nitrógeno, etc y pueden estar diseñados con diferente nivel de detalle (Boote *et al.*, 1996), no existiendo modelos universales.

La necesidad de modelar surge cuando la obtención de un parámetro no puede ser determinado de forma directa. La transpiración, es un proceso mediante el cual el cultivo transporta nutrientes y hormonas desde la raíz a los órganos y además esta directamente relacionado con la fijación de CO₂ y aunque es conocido que el cultivo de maíz transpira en forma constante durante todo su ciclo, no es posible conocer en forma precisa como ésta varía frente a diferentes situaciones, siendo necesaria la experimentación e investigación para la calibración y validación de los resultados (Troeh *et al.* 1991)

La cantidad de biomasa o granos que produce un cultivo puede calcularse como el producto entre la cantidad de recursos (agua, nutrientes, radiación) que son

capturados y la eficiencia con que éstos son convertidos en órganos cosechables (Hunter *et al.*, 1974).

La relación entre la proporción de radiación solar fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) que es transformada en biomasa, se denomina eficiencia en el uso de la radiación (EUR), y se expresa en gramos de biomasa por mega joule (MJ) de radiación que el dosel captura.

La biomasa producida por unidad de agua expresa la eficiencia con la cual un cultivo fija carbono, en relación con el agua que pierde, y se define como eficiencia en el uso de agua (EUA) (Sinclair *et al.*, 1984). La EUA puede representar un parámetro característico de la especie o bien variar en función de la respuesta del cultivo.

El rendimiento en granos depende de la cantidad de agua que el cultivo pueda transpirar, la eficiencia con que usa agua para producir materia seca y la proporción de materia seca que finalmente es destinada a la formación de grano (Passioura, 1996).

Existen practicas que permiten incrementar la cantidad de agua que el cultivo puede transpirar (labranza reducida, densidad de siembra, fecha de siembra, etc), pero además se deberán implementar practicas que mejoren la eficiencia con que este usa el agua para producir materia seca.

El efecto de la fertilización nitrogenada sobre la EUA y la EUR, en los cultivos agrícolas ha sido bien documentado (Estrada Escalante, 2001, Cooper *et al.* 1987 y Ogola *et al.* 2002). En general, se ha encontrado que con el incremento de la disponibilidad de N, la EUA y EUR aumenta, sin embargo, es de importancia conocer y determinar el efecto que el aporte continuo de N genera sobre estos parámetros, cuando la fertilización nitrogenada durante varios años modifíco las propiedades químicas y físicas del suelo. Disponer de estos conocimientos ayudaría en la comprensión y la utilización de herramientas para maximizar el uso de los recursos involucrados en la producción de granos.

I.1. HIPÓTESIS:

La fertilización nitrogenada prolongada de maíz en siembra directa incrementa la eficiencia en el uso del agua y la eficiencia en uso de la radiación para la producción de materia seca y de granos cosechables.

I.2. OBJETIVOS:

El objetivo general del presente trabajo es evaluar y cuantificar los efectos de la fertilización nitrogenada prolongada sobre la eficiencia de uso del agua y la eficiencia en el uso de la radiación, para la producción de maíz.

Objetivos específicos:

- Evaluar cambios en la EUA como consecuencia de la fertilización nitrogenada prolongada.
- Evaluar cambios en la EUR como consecuencia de la fertilización nitrogenada prolongada.
- Analizar como la fertilización nitrogenada modifica la relación transpiración-evaporación.
- Sintetizar el comportamiento del sistema suelo – cultivo – atmósfera mediante el uso de un modelo de simulación numérica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1.1. Área experimental

El ensayo se realizó en el campo de experimentación y docencia de la U.N.R.C. (CAMDOCEX) “Pozo del Carril”, ubicado en el paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, en el marco del programa de Investigación “Desarrollo de alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sustentable en el oeste de Río Cuarto”. Bajo este programa se realizan desde el año 1994 tratamientos de fertilización aplicados siempre en las mismas parcelas y otras parcelas que durante el mismo periodo nunca fueron fertilizadas, en siembra directa (SD). El ensayo se realizó en la unidad ecológica llanura con invierno seco, clasificada por Becerra (1999) cuya superficie dentro de la provincia de Córdoba abarca 27.760 km².

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80% de las lluvias concentradas en el periodo octubre – abril) y con una precipitación

media anual de 850 mm. El balance hídrico presenta un déficit entre 50 y 300 mm/año de acuerdo al régimen de lluvias. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo y la intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998).

El área se caracteriza por presentar un relieve muy complejo de moderado a fuertemente ondulado determinando un conjunto de lomadas, cuya longitud oscila entre los 3.000 y 6.000 m de largo con un gradiente del 2 al 3 %. Localmente se presentan pendientes más cortas pero de mayor gradiente (Becker, 2001).

En este relieve afloran sedimentos de tipo loésico sobre los que se desarrollan Hapludoles. Los suelos se desarrollaron sobre materiales loésicos, franco arenosos muy finos de la Formación La Invernada (Cantú, 1992).

II. 1. 2. Descripción del suelo bajo estudio

El relieve es normal, suavemente ondulado, con pendientes de longitud largas y gradientes promedios de 1,5 %. El suelo es Hapludol típico, de textura franca arenosa muy fina. El mismo presenta susceptibilidad a desagregación superficial y a compactarse (Degioanni, 1998).

Cuadro 1. Descripción del perfil del suelo

<i>Horizonte</i>	<i>A</i>	<i>Bw1</i>	<i>Bw2</i>	<i>BC</i>	<i>C</i>
<i>Profundidad (cm)</i>	0-30	30-43	43-60	60-74	+74
<i>Materia Orgánica (%)</i>	1.58	0.89	0.69	0.3	-
<i>Arcilla < 2</i> □□□□□□	15	12	8	6	6
<i>Limo 2-50</i> □□□□□	40.5	37	40	37	35
<i>Arena 50-1000</i> □□□□□	45	51	50	55	58
<i>Ph</i>	6.8	7	7.1	7.2	7.5

II.1.3. Descripción morfológica del perfil

A: Bloques subangulares, medios, moderados. Límite inferior claro, suave.

Bw1: Bloques subangulares, gruesos, moderados a débiles. Límite inferior claro suave.

Bw2: Bloques subangulares, gruesos y medios, débiles a moderados. Límite inferior gradual suave.

BC: Bloque angulares, medios, débiles. Límite inferior gradual suave.

C: A pedal. Límite inferior gradual suave.

Sobre este ambiente se desarrolla desde hace 12 años un proyecto de investigación multidisciplinario sobre la evaluación de tres sistemas de labranza, cuyo objetivo es evaluar la dinámica de las interacciones que afectan la producción de cultivos. Cabe aclarar que en esta tesis solo utilizó la fracción que se desarrolla sobre siembra directa.

Cuadro 2 .Cantidad de rastrojo y % de cobertura con rastrojo de la superficie del suelo. Evaluaciones realizadas previo a la siembra del cultivo de maíz.

<i>Tratamiento</i>	<i>MST</i>	<i>% cobertura</i>
Sin Fertilizar (SF)	3884,71 b	60% b
Fertilizado (F)	7556,74 a	90% a

Valores expresados en kg MS .ha⁻¹.

Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

En el Cuadro 2 se observa los diferentes valores de materia seca y % de cobertura que presentaron las superficies sobre las cuales se establecieron los diferentes tratamientos. Como puede claramente observarse las parcelas que en años anteriores fueron fertilizadas muestran una mayor acumulación de materia seca en el rastrojo, dando como resultado una mayor cobertura de la superficie del suelo.

Cuadro 3. Densidad aparente obtenida en cada una de los bloques bajo estudio

	<i>Bloque 1</i>	<i>Bloque 2</i>	<i>Bloque 3</i>	<i>Bloque 4</i>
<i>Profundidad</i>	<i>PEA Mg/m³</i>	<i>PEA Mg/m³</i>	<i>PEA Mg/m³</i>	<i>PEA Mg/m³</i>
0.2	1.13	1.347	1.2025	1.275
0.4	1.275	1.33	1.3	1.3
0.6	1.23	1.23	1.23	1.23
0.8	1.21	1.21	1.21	1.21
1	1.22	1.22	1.22	1.22

1.2	1.23	1.23	1.23	1.23
1.4	1.21	1.21	1.21	1.21
1.6	1.21	1.21	1.21	1.21
1.8	1.21	1.21	1.21	1.21
2	1.21	1.21	1.21	1.21

Este suelo no presenta impedimentos para el crecimiento radicular.

Los valores mas altos de densidad se encuentran entre los 20 y 40 cm de profundidad debido probablemente a la historia de laboreo del suelo.

II. 2. Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó fue de bloques completamente aleatorizados con submuestras y 4 repeticiones. Figura 1). El tamaño de las parcelas fue de 24,5 mts de ancho, por 70 mts de largo. El cultivo se sembró con una densidad de 72000 semillas por hectárea el 17 de Noviembre de 2006, empleando para ello el híbrido simple AX 882 de Nidera.

Previo a la siembra se aplicó un control químico de malezas sobre todos los tratamientos, utilizando para ello un herbicida total. Luego de la siembra se aplicaron herbicidas y plaguicidas para mantener el ensayo libre de malezas e insectos.

Los tratamientos fueron: Fertilizado y Sin Fertilizar. A las parcelas fertilizadas se les aplicó al momento de la siembra fosfato diamónico (N-P-K, 18-46-0) a razón de 80 kg/ha. Al estado ontogénico de 6º hoja se re fertilizó con urea (N-P-K, 46-0-0) a razón de 100 kg/ha. Ambas fertilizaciones se aplicaron en todas las parcelas fertilizadas definiéndose así la situación “fertilizado”, **(F)**.

La otra situación evaluada fue la de no fertilizar; definiéndose así la situación “Sin Fertilizar”, **(SF)**.

Se sembraron 35 líneas por parcela a 0.70 mts de distancia entre ellas, sobre un rastrojo de soja.

Plano del ensayo:

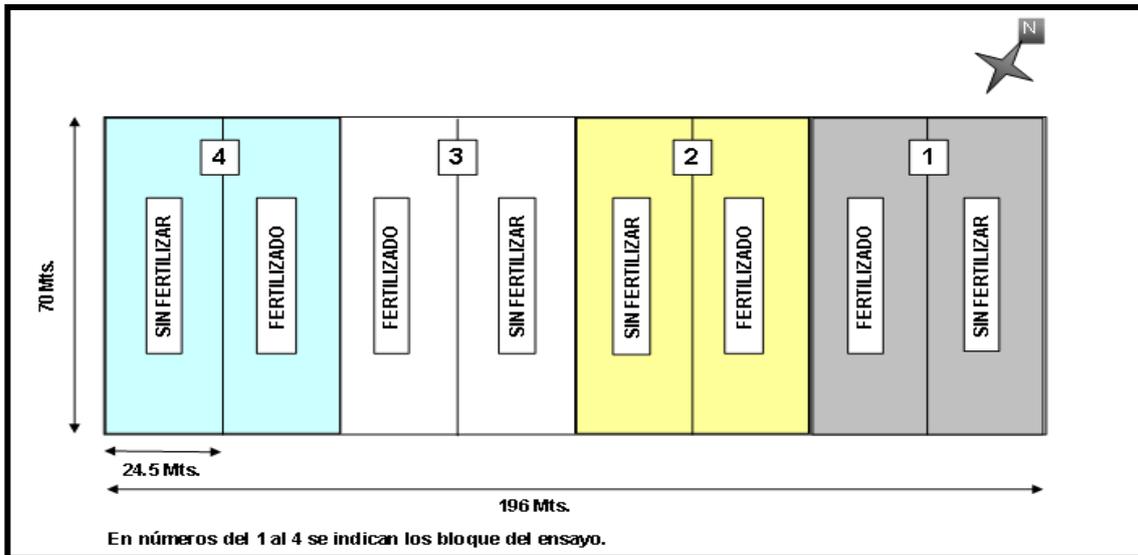


Figura 1. Plano del ensayo

II. 3. DETERMINACIONES REALIZADAS

1 Cantidad de rastrojo en superficie:

Se determinó previo a la siembra del cultivo, tomando 4 muestras de 0.25 m^2 por cada parcela. Las muestras fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante. Los resultados se expresaron en peso de materia seca de rastrojo.

2 Grado de cobertura con rastrojo en superficie:

Se determinó mediante el método de la línea transecta, que consiste en medir cada $0,1 \text{ m}$ en 10 m lineales la cantidad de intersecciones con rastrojo superficial (Eck *et al.*, 1994). Se tomaron 3 muestras en cada parcela.

3 Fenología del cultivo:

Se determinaron los estadios fenológicos del cultivo según Ritchie y Hanway (1997).

3 Materia seca total de la parte aérea:

Las mediciones se realizaron en los estadios V_6 , V_9 , V_{13} , R_1 , R_3 y R_6 . Se tomaron 4 muestras por parcela, de 5 plantas cada una. Las plantas que se seleccionaron, fueron aquellas que presentaron la misma altura y no presentaron falta de planta en la

misma línea, ni en las líneas de los costados, es decir que se encuentren en competencia perfecta. Las plantas tomadas en cada muestra, fueron secadas en estufa a 80 °C hasta peso constante.

4 Rendimiento y componentes:

La cuantificación de la producción de granos se realizó mediante cosecha mecánica, con una cosechadora de parcelas marca Wintersteiger de dos surcos y pesadas con tolva báscula, cosechando 4 líneas por tratamiento. Realizada la cosecha, se tomó una muestra de cada parcela para luego hacer humedad y peso de 1000 semillas. Además se evaluó el número de espigas y se determinó número de granos por m².

5 Intercepción de la radiación (IR):

Se midió en los estadios fenológicos (V_6 , V_9 , V_{13} , R_1 y R_3), utilizando el LI-COR LI-1400 Datalogger conjuntamente con el sensor lineal LI-191SA quantum Lincoln. NE. USA. En cada tratamiento y sus repeticiones se realizó una medición a cielo abierto (I_0) y tres debajo del dosel del cultivo en forma transversal a las líneas de siembra (I).

La intercepción de la radiación fue determinada según:

$$IR(\%) = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) * 100$$

Los valores de %IR fueron utilizados para obtener la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFA_i) mediante la siguiente ecuación:

$$RFA_i = IR\% * RAD$$

Donde RAD es la radiación fotosintéticamente activa incidente, la cual fue obtenida afectando a la radiación global (RG) por 0.48 (Echarte L. *et al.* 2006). La RG será obtenida de la estación meteorológica automática que se encuentra a 1000 m del sitio experimental.

$$RAD = 0.48 * RG$$

6. Eficiencia en el uso de la radiación:

Se determino la eficiencia en uso de la radiación (EUR) para producción de materia seca total, materia seca por estadio fenológico y para producción de granos. La EUR por estadio se determinó entre los estadios fenológicos V13 y R3.

La EUR por estadio fenológico se determinara mediante la siguiente fórmula:

$$EUR_p = \frac{TCC}{\Delta RAF_i}$$

Donde $\Delta RAF_i = RAD \times IR\bar{x}$

La EUR global se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$EUR_G = \frac{Biomasa}{RAF_i}$$

Donde $\Delta RAF = \sum RAF \times Etapas$

Donde

7. Peso específico aparente:

El peso específico aparente fue determinado cada 20 cm hasta los 200 cm de profundidad, mediante cilindros de 3 cm de alto y 6 cm de diámetro, recolectando 3 muestra en cada capa u horizonte. Este método consistió en extraer una muestra de suelo con el extractor de *Soil Moisture Equipment Corp.* y luego obtener el peso seco en estufa con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante. Con el peso seco y el volumen del cilindro se determina el peso específico aparente usando la siguiente fórmula:

$$P.E.A \text{ (Mg/m}^3\text{)} = \text{Peso seco del suelo (Mg)} / \text{volumen (m}^3\text{)}$$

8. Humedad gravimétrica:

Se determinó a la siembra y en V₆, V₁₃, R₃, R₆ (MF), en cada capa de los perfiles del suelo 0-20 cm., 20-40 cm, 40-60cm., 60-80 cm., 80-100 cm. de profundidad. Las muestras se conformaron con 3 submuestras, realizadas 2 de ellas en el entresurco y 1 sobre el surco del maíz. Luego fueron llevadas a estufa de secado con aire forzado a 105°C hasta peso seco constante.

9. Lámina de agua:

Los valores de humedad gravimétrica fueron transformados a lámina de agua por capa según Forsythe, (1980) a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Lamina (mm)} = \text{Hg} * \text{PEA} * \text{E}$$

Donde:

Hg: Humedad gravimétrica.

PEA: peso específico aparente

E: espesor del horizonte.

10. Incidencia de enfermedades:

Ante la ocurrencia de MRDV (Mal de Río Cuarto) en el desarrollo de la presente experiencia, y su impacto sobre el rendimiento que esta enfermedad produce, se evaluó y analizó estadísticamente la incidencia de la misma en cada tratamiento según March *et al.* (1997). Posteriormente, estos valores fueron llevados a severidad según Lenardon *et al.* (2007).

$$\text{Severidad} = 0.000135 * \text{Inc}^2 + 0.009423 * \text{Inc} + 0.032047$$

11. Eficiencia de uso del agua:

Se cuantificó la eficiencia de uso del agua transpirada para biomasa total ($EUA_T MS$) y para biomasa de granos ($EUA_T G$), mediante la siguiente ecuación:

$$EUA_T MS = \frac{BIOMASA(R6)}{T} \qquad \qquad \qquad EUA_T G = \frac{Rto}{T}$$

Donde T es transpiración.

También se determinó la eficiencia de uso del agua evapotranspirada para biomasa total ($EUA_{ET} MS$) y para biomasa de granos ($EUA_{ET} G$), mediante la siguiente fórmula:

$$EUA_{ET} MS = \frac{BIOMASA(R6)}{ET} \qquad \qquad \qquad EUA_{ET} G = \frac{Rto}{ET}$$

Donde ET es evapotranspiración real.

Este valor fue calculado, entre cada etapa de desarrollo fenológico analizado, y también entre siembra y madurez fisiológica.

La transpiración y la evaporación utilizadas para los cálculos arriba mencionados, se obtuvieron del uso del modelo de simulación del crecimiento de cultivos Soil Water Balance (SWB) (Marcos, 2001; Campbell and Stockle, 1993).

Descripción del modelo SWB

La funcionalidad del sistema suelo-planta-atmósfera define la transpiración de un cultivo y por ende su producción. Los ingresos hídricos al sistema incluyen lluvias, riego, aporte superficial y sub-superficial y ascenso capilar, mientras que las pérdidas comprenden, evaporación del suelo, transpiración, escurrimiento y drenaje (Marcos 2001). De manera simplificada Ritchie (1985) ha propuesto la siguiente ecuación para calcular el Balance hídrico de un cultivo:

$$(E+T) = M + I_r - N - F - \Delta W$$

Donde

(E+T): Evapotranspiración (mm)

M: Precipitación (mm).

I_r: Riego (mm).

N: Escorrentía (mm).

F: Drenaje (mm).

ΔW: Diferencia de lámina útil entre etapas (mm).

El SWB Model es un modelo que simula el transporte de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera acoplado con un simulador de crecimiento y desarrollo de cultivos. El modelo se ejecuta en Microsoft Excel utilizando el lenguaje de macros brindado por la aplicación Visual Basic.

El SWB Model es un simulador de paso diario requiriendo datos de temperatura máxima y mínima del aire y precipitación. Además, es necesario brindarle datos y parámetros de suelo, capa freática y de cultivo.

El balance de agua incluye los procesos de evaporación, escurrimiento, infiltración, redistribución, percolación profunda, transpiración y dinámica de la capa freática. La representación matemática del balance de agua en el suelo se realiza mediante la integración numérica de ecuaciones diferenciales, por el método de diferencias finitas, que describen el flujo y almacenamiento de agua en el suelo y en el perfil en su conjunto.

La pérdida de agua por transpiración es regulada por la interacción entre la demanda atmosférica, el potencial agua del suelo y el potencial agua en la hoja. La evapotranspiración potencial es separada en transpiración potencial y evaporación potencial de acuerdo a la fracción de la radiación incidente que es interceptada por el dosel del cultivo.

La fracción de intercepción del cultivo es a su vez regulada por el índice de área foliar. La producción de materia seca es estimada en forma diaria y depende de la cantidad de radiación incidente y la cantidad de agua transpirada.

El desarrollo del cultivo es estimado de acuerdo al tiempo térmico y determina el ritmo de partición de acumulación de materia seca entre crecimiento vegetativo y reproductivo.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), el SWB usa el método de Priestley-Taylor (Priestley and Taylor, 1972) cuando no se cuenta con información de velocidad del viento. El método de Priestley-Taylor es de acuerdo a:

$$ETP = \frac{\alpha s(R_n - G)}{(s + \gamma)\lambda}$$

donde ETP es en $\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. El factor α es el factor Priestley-Taylor que toma valores entre 1 y 1.6 dependiendo de la aridez del sitio. Este factor compensa la pérdida de los términos de resistencias convectivas al flujo de vapor y temperatura del cultivo y la capa límite que están contempladas en el método de Penman-Monteith.

El crecimiento del cultivo limitado por agua es calculado con la fórmula propuesta por Tanner and Sinclair (1983).

$$B = \frac{kT}{VPD}$$

Donde B es en $\text{kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, k es un parámetro de cultivo obtenido experimentalmente de la relación entre la materia seca y el uso del agua y toma unidades de kPa, T es la transpiración del cultivo ($\text{kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y VPD es el déficit de vapor diario (kPa). Esta relación se basa en el hecho de que si el suministro de agua hacia las hojas es restringido, la pérdida de agua disminuye como así también el ingreso de CO_2 y la acumulación de materia seca.

Para la simulación del transporte y almacenaje de agua dentro del suelo, el balance de agua en cada capa es resuelto por métodos numéricos y determina el cambio de potencial y contenido de agua en el tiempo. De esta forma, la infiltración, redistribución, evaporación y absorción de agua por el cultivo son simuladas.

La Intercepción y el escurrimiento disminuye el ingreso del agua de lluvia al suelo y la percolación profunda ocurre por debajo de la profundidad de enraizamiento como resultado de un gradiente en potencial gravitacional.

La densidad del flujo de agua, entre capas, está explicada por la *Ley de Darcy* y es función de la conductividad hidráulica del suelo y del gradiente de potencial agua del suelo a través del elemento (capa):

En flujo insaturado, la conductividad hidráulica es función de la variable dependiente (contenido de agua o potencial). La ecuación de flujo es extremadamente no lineal y ello complica la solución numérica de la ecuación de Richards. Por ello se emplea el método de Newton-Rhapson y el algoritmo Thomas para computar cambios en θ que resuelvan la ecuación de Richards en cada lapso de tiempo y en cada capa.

El contenido volumétrico de agua a -33J/kg (θ_{fc}) y a -1500 J/kg (θ_{pwp}), como también la densidad aparente son variables de entrada para el modelo y ellos deben estar especificados para cada capa del suelo.

El modelo SWB estima el escurrimiento mediante el modelo de *Curva Número* del *U.S. Soil Conservation Service* que calcula el escurrimiento de una lluvia en 24 hs a partir de un umbral crítico de escurrimiento (P_0) definido por el tipo de suelo y condición de superficie del mismo. La ecuación matemática es la siguiente:

$$E = \frac{(Pt - P_0)^2}{Pt + 4P_0}$$

E : escurrimiento (mm)

Pt : precipitación en 24 horas (mm)

P_0 : umbral de escorrentía (mm)

$E = 0$ si $Pt \leq P_0$; $E \geq 0$ si $Pt > P_0$

II. 4. ANALISIS DE RESULTADOS

Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA, test de separación de medias (DMS Fisher), utilizando el paquete de análisis estadísticos InfoStat 2004. La relación entre valores observados y simulados fue analizada con el índice de coincidencia D, la larz cuadrada del error medio (RMSE) y el %RMSE según Wilmott, 1982.

III. RESULTADO Y DISCUSIÓN

II.1.4. Información climática

Para poder analizar la oferta climática en relación con la fenología del cultivo, se utilizó la serie climática obtenida a partir de los valores registrados de la estación meteorológica automática entre los años 1993 y 2007, en comparación con los valores de la campaña 2006/07.

II. 1. 5 .Temperaturas

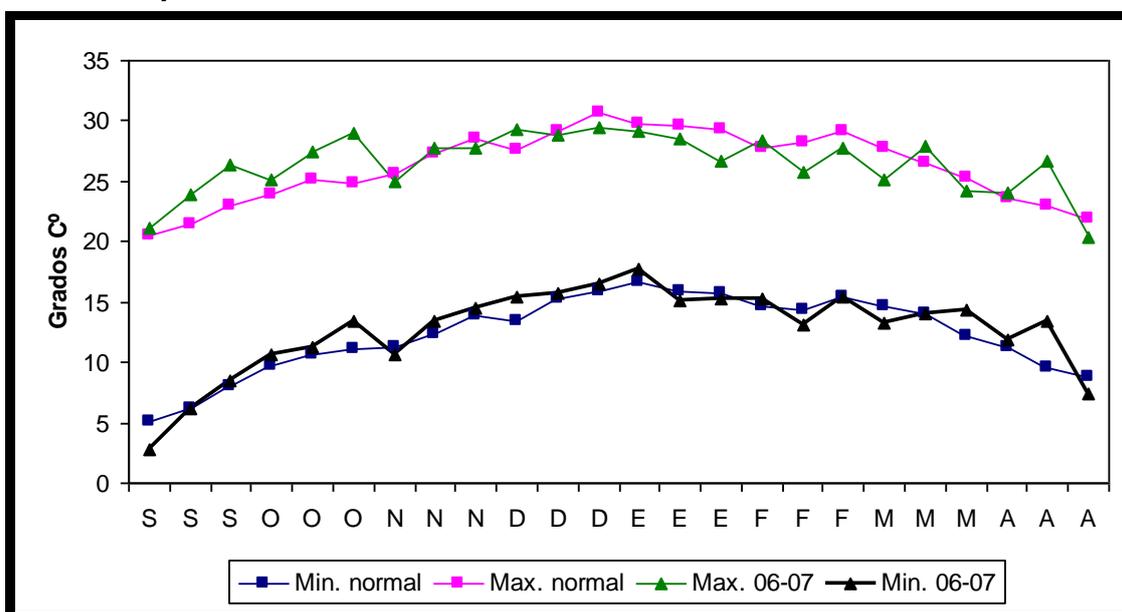


Figura. 2. Temperaturas normales para el período 1993-2007 y campaña 06-07

En la Figura 2, se presenta la evolución de la temperatura máxima y mínima decádica registrada desde el mes de septiembre de 2006 hasta mayo del 2007.

Considerando que a partir de los 30-34 °C (Gilmore y Rogers, 1958) la velocidad de desarrollo del cultivo de maíz se reduce, y que en ningún momento dicha temperatura superó ese umbral (Figura 2), se considera que la misma no influyó en la normal tasa de crecimiento del cultivo. En referencia a las temperaturas mínimas, no se registraron valores inferiores a la base de 8 °C (Jones y Kiniry, 1986), por consiguiente no fue afectando el normal desarrollo.

II. 1. 6. Precipitaciones

En la Figura 3, se presentan las precipitaciones de la campaña 2006-07 y los valores normales en el establecimiento Pozo del Carril, ubicado en el paraje La Aguada.

Cuando se analiza el ciclo del cultivo se observa que el año presentó valores de precipitación que superaron a los valores normales de la región, en 169.7 mm. Estos excesos se registraron a partir del estadio fenológico V₁₃, (06/01/07). Entre R₃ (12/02/07) y R₆ (22/03/07) se dieron abundantes precipitaciones pero acompañada de granizo lo que ocasionó una importante reducción del área foliar del cultivo.

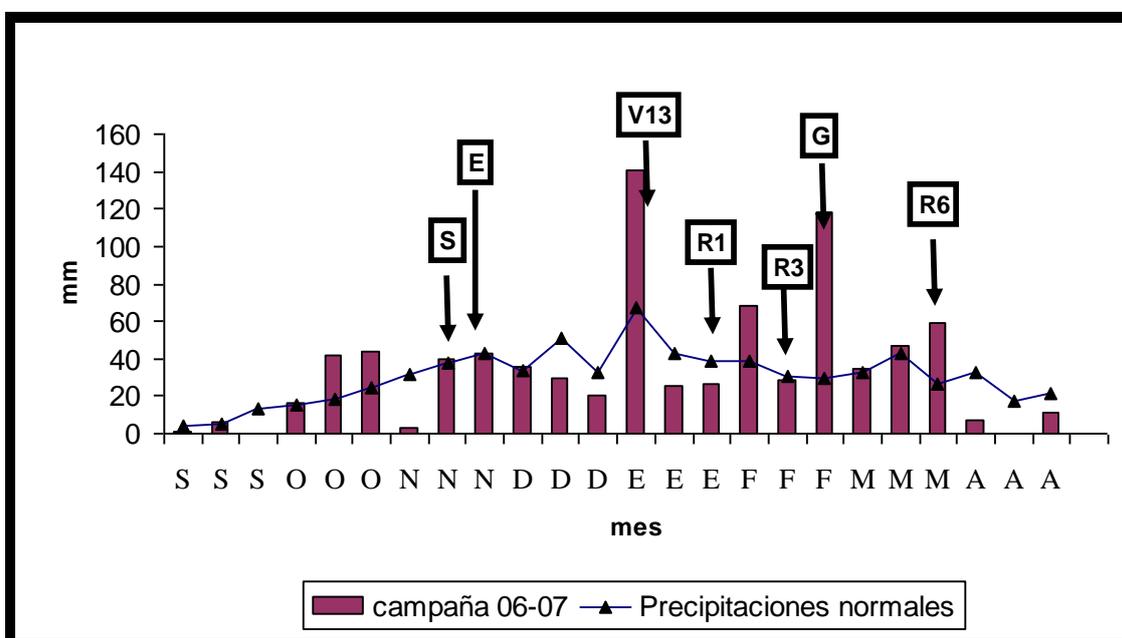


Figura 3. Precipitaciones normales y de la campaña 06-07, La Aguada, RíoCuarto, Córdoba.

S: Siembra, E:Emergencia, V₁₃:Estado de 13 hojas, R₁:Floración, R₃:Llenado de granos, G:Caída de granizo, R₆: madurez fisiológica.

II.1. 7. Radiación solar global

Se puede observar en la Figura 4, que los valores de radiación solar global para el ciclo agrícola 2006-2007 estuvieron por debajo de los valores medios de la serie climática, posiblemente debido a la mayor ocurrencia de días nublados que se dieron durante el desarrollo del cultivo.

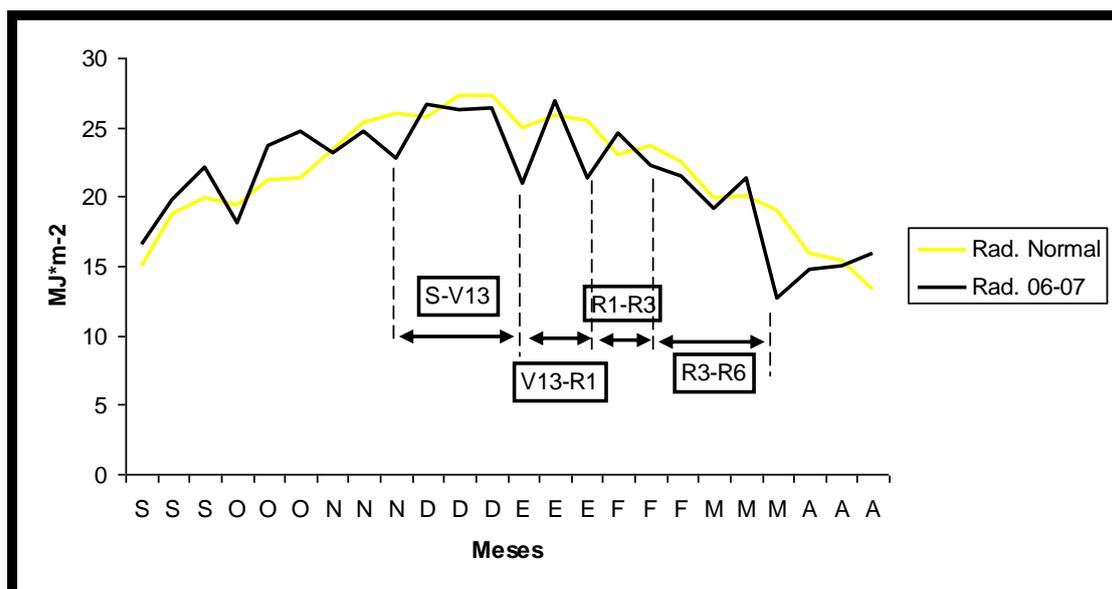


Figura 4. Radiación global media y campaña 06-07, La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.

Sanidad del cultivo: Mal de Río Cuarto

El Mal de Río Cuarto es la enfermedad más importante del cultivo de maíz en Argentina (Lenardon *et al.*, 1998). El área endémica de la virosis se encuentra en la zona próxima a la localidad de Río Cuarto (Provincia de Córdoba, Argentina), donde fue detectada por primera vez hacia fines de la década del 60 (Lenardon *et al.*, 1999). Su distribución se fue ampliando progresivamente, alcanzando en la actualidad gran parte del área maicera argentina (Laguna y Di Feo, 1997).

Cuadro 4. Incidencia de mal de Río Cuarto en maíz AX 882 IT. La aguada, Córdoba.

	Incidencia (% Plantas afectadas)
Sin Fertilizar	37 % b
Fertilizado	5 % a
DMS	3.3 %
% CV	19.8

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

Como puede observarse en el Cuadro 4, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la incidencia de la enfermedad para la variable fertilización. Una mayor disponibilidad nutricional permitió al cultivo tener una mejor respuesta ante la enfermedad. Estos resultados coinciden con los encontrados por Ventimiglia *et al.* (2008), quienes realizaron ensayos con diferentes dosis de fertilizante observando que, mientras los tratamientos que tuvieron buena fertilidad presentaron 4,5 % de incidencia de mal de Río Cuarto, en los tratamientos sin fertilización la incidencia de la enfermedad alcanzó 25 %, valor que es superado en esta oportunidad (37 %).

III. 1. Fenología

Fenología del cultivo

Como puede observarse en el Cuadro 5, el cultivo cumplió su ciclo en 125 días. La ocurrencia de las etapas de desarrollo se manifestó acordes a las condiciones ambientales que se dieron durante el periodo comprendido entre el 17/11/2006 y el 23/02/2007.

La ocurrencia de granizo afectó el periodo R₃-R₆, viéndose modificada el área foliar, lo cual perjudicó el normal crecimiento del cultivo en estas etapas afectando el llenado de granos principalmente.

Cuadro 5, Fecha de ocurrencia de estadios fonológicos (maíz AX 882 IT)

Estado Fenológico	Fecha	Días entre periodo	Días acumulados
Siembra	17/11/06	0	0
E	24/11/06	7	7
V ₅	6/12/06	12	19
V ₉	21/12/06	15	34
V ₁₃	6/01/07	16	50
R ₁	25/01/07	19	69
R ₃	12/02/07	18	87
Granizada	23/02/07		
R ₆	22/03/07	38	125

Escala según Ritchie and Hanway (1997). E: Emergencia; V: estadios vegetativos y R: estados reproductivos.

En el Cuadro 6 pueden observarse las sumas térmicas y precipitaciones registradas durante el desarrollo del cultivo.

La campaña 2006-2007 puede ser considerada meteorológicamente como un año húmedo, registrándose un total acumulado de 658 mm durante el desarrollo del cultivo. Sin embargo, los rendimientos obtenidos en la campaña no fueron los esperados con el nivel de precipitaciones registradas. La ocurrencia de precipitaciones sólidas en forma de granizo puede ser considerada sin duda como una de las causales de una importante pérdida de rendimiento potencial (29%). En las parcelas sin fertilización, la mayor incidencia del Mal de Río Cuarto también contribuyó a la merma en el rendimiento (11%).

Cuadro 6: Suma térmica y lluvias en el cultivo de maíz, campaña 2006-2007. La Aguada, Río cuarto, Córdoba.

<i>Estado Fenológico</i>	<i>Suma Térmica entre estadio fenológico</i>	<i>Suma Térmica acumulada</i>	<i>Lluvia entre estadio fenológico</i>	<i>Lluvia acumulada</i>
<i>Siembra</i>	-	0	-	0
<i>E</i>	90,19	90,19	48	48
<i>V₅</i>	140,97	231,16	71	119
<i>V₇</i>	209,13	440,29	30	149
<i>V₁₁</i>	238,92	678,74	56	205
<i>R₁</i>	260,45	939,19	136	341
<i>R₃</i>	229,81	116,9	88	429
<i>R₆</i>	220,9	1389,97	229	658

Escala según Ritchie and Hanway (1997). E: Emergencia; V: estadios vegetativos y R: estados reproductivos.

En relación a la suma térmica registrada (Cuadro 6), calculada tomando como temperatura base de crecimiento de 8°C, se aprecia que los valores obtenidos coinciden con los valores indicados para cada estadio fenológico en la información técnica del cultivar utilizado (Nidera, S. A.).

Balance hídrico del cultivo de maíz

Calibración del Modelo Soil Water Balance (SWB)

Como se menciona anteriormente la transpiración de un cultivo no puede ser medida en forma precisa. Para la determinación de transpiración y evaporación, se utilizó el modelo de simulación SWB.

Para que el modelo Soil Water Balance sea coherente a los valores reales obtenidos en el ensayo se llevó a cabo la calibración del mismo. En el Cuadro 7, se señalan los parámetros utilizados para tal fin.

Dada las diferencias iniciales de las parcelas (nivel de rastrojo), la calibración se realizó para dos situaciones: “Sin fertilización nitrogenada” y “con fertilización nitrogenada”, ambos tratamientos correspondientes al bloque 4. Con los datos de los restantes tres bloques se procedió a validar el modelo para el cálculo del balance hídrico. Los parámetros fenológicos y de crecimiento fueron ajustados hasta que los valores simulados y observados mostraran concordancia. La evaluación de la similitud, entre observado-simulado, en esta etapa de calibración permitió establecer coeficientes de regresión lineal para la simulación de la lámina total de agua, % de interceptación de la radiación y para la biomasa del cultivo.

Cuadro 7. Parámetros utilizados para la calibración del modelo SWB

Grado día para emergencia (°C/d)	90
Grado día para la floración (°C/d)	970
Grados día para madurez (°C/d)	1675
Temperatura base (°C)	8
Temperatura máxima tasa de crecimiento	30
Temperatura máxima del tiempo térmico	40
Máxima profundidad de enraizamiento (m)	1.5
Relación material seca agua (kPa)	10
Potencial agua de la hoja a transpiración máxima (J/kg)	-1000
Potencial agua de la hoja a marchites (T=0, J/kg)	-1500
Potencial agua de la hoja a marchites (T=0, J/kg)	-1500
Coefficiente de extinción de la radiación	0.45
Eficiencia en la conversión de la radiación (g/MJ)	7
Fracción de materia seca del canopeo translocada a grano	0.01
Temperatura para el crecimiento óptimo limitado por radiación	29
Máximo posible de transpiración (mm/día)	14
Duración de las hojas	1200

GABRIEL TRADUCIR LO RESALTADO EN AMARILLO

A continuación se detallan los resultados entre los valores observados y simulados de las parcelas utilizadas para la calibración.

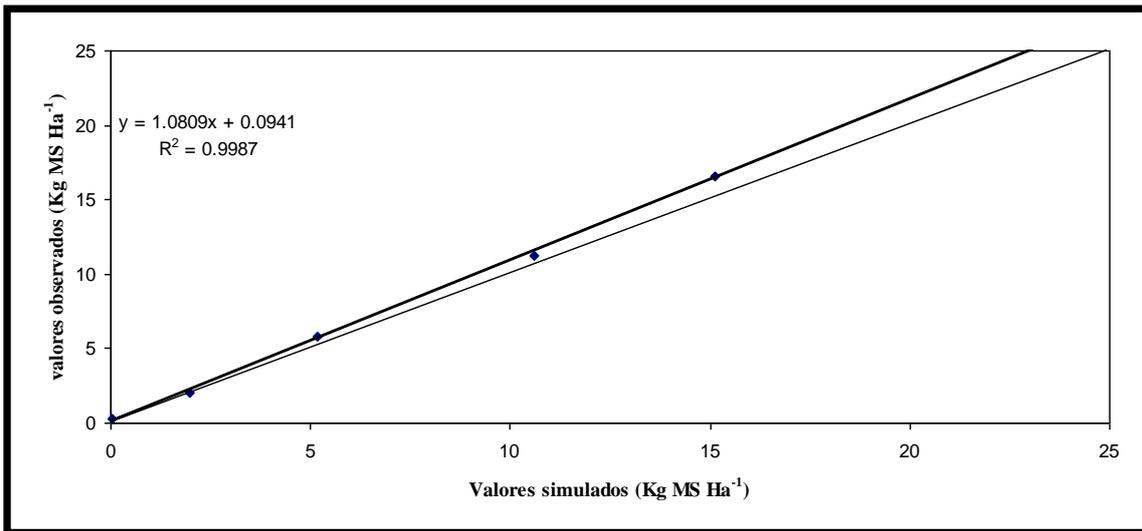


Figura 6, calibración del modelo, valores simulados y observados para el tratamiento fertilizado, para producción de materia seca total.

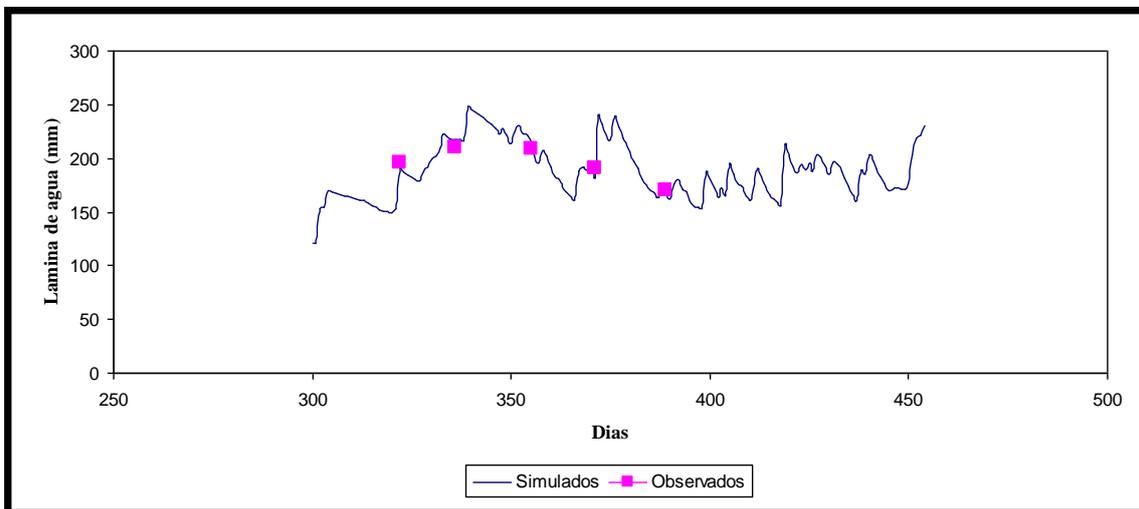


Figura 7, calibración del modelo de simulación para el tratamiento fertilizado, para lámina total de agua.

Al igual que la parcela fertilizada, se seleccionó una parcela que no recibió fertilizante, para de esta manera calibrar el modelo para dicha situación.

Los siguientes son los resultados entre los valores simulados y observados en dicha parcela:

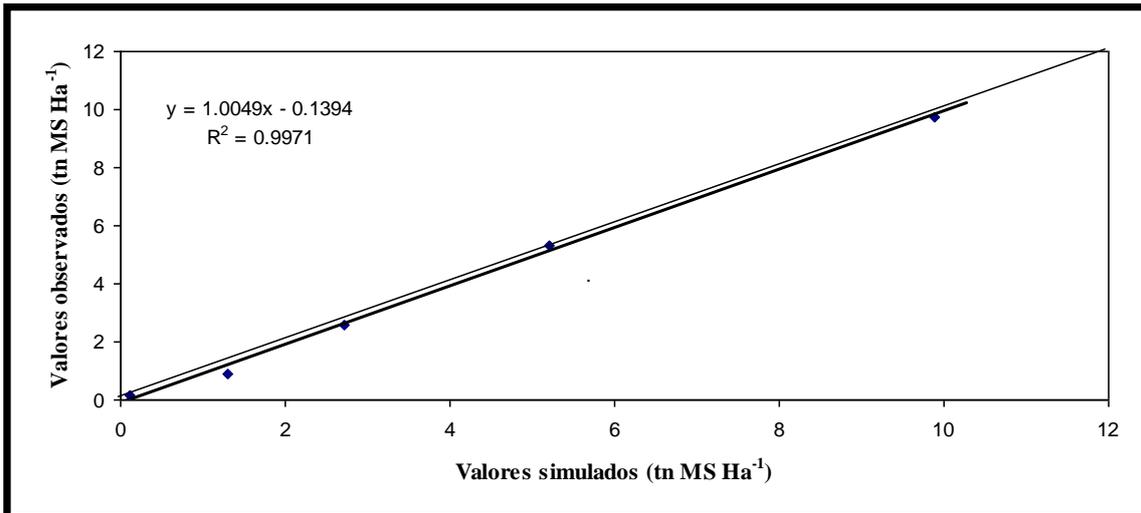


Figura 8, calibración del SWB, para valores de materia seca total.

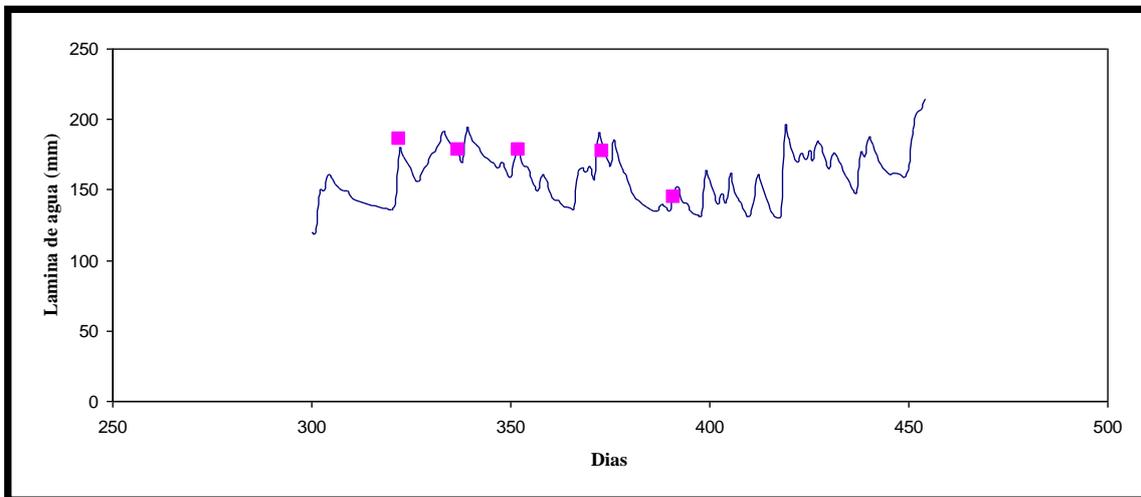


Figura 9, Valores observados y simulados de lámina de agua total en la parcela sin fertilizar utilizada para la calibración del SWB.

Validación del SWB

Para la validación final del modelo se obtuvieron índices de ajuste, como: el Índice de coincidencia, raíz cuadrada del error medio y % de la raíz cuadrada del error medio, en relación al valor medio, calculados para materia seca total, % interceptación de la radiación y lámina de agua.

En el Cuadro 8, se presentan los resultados de los índices antes mencionados:

Cuadro 8, Índices de ajuste del modelo SWB

	<i>MS</i>	<i>%IR</i>	<i>Lamina</i>
<i>D</i>	99,3	95,6	99.3
<i>RCEM</i>	1.22	0,51	6,052
<i>%RCEM</i>	23,51	87.21	4,11

D: Índice de coincidencia; RCEM: Raíz cuadrada del error medio; RCEM: % de la raíz cuadrada del error medio, en relación al valor medio.

Dado el grado de ajuste entre valores observados y simulados mediante el uso del SWB, se consideró como válido al modelo calibrado previamente, para el cálculo del balance hídrico del cultivo en cada tratamiento y repetición.

El modelo ahora calibrado y validado fue utilizado para la determinación del balance hídrico de cada unidad experimental mediante la variación de los valores de densidad aparente del suelo (PEA), obtenido de cada parcela (ver Cuadro 2, en materiales y métodos).

III. 5. 2 Evaporación y transpiración

Las pérdidas por evaporación (E) pueden ser importantes a lo largo del ciclo del cultivo. La evaporación es función de la textura superficial del suelo, por lo que la participación de ésta en la evapotranspiración (ET) dependerá de las condiciones del suelo y del grado de cobertura que proporcione el cultivo (Dardanelli *et al.* 2003).

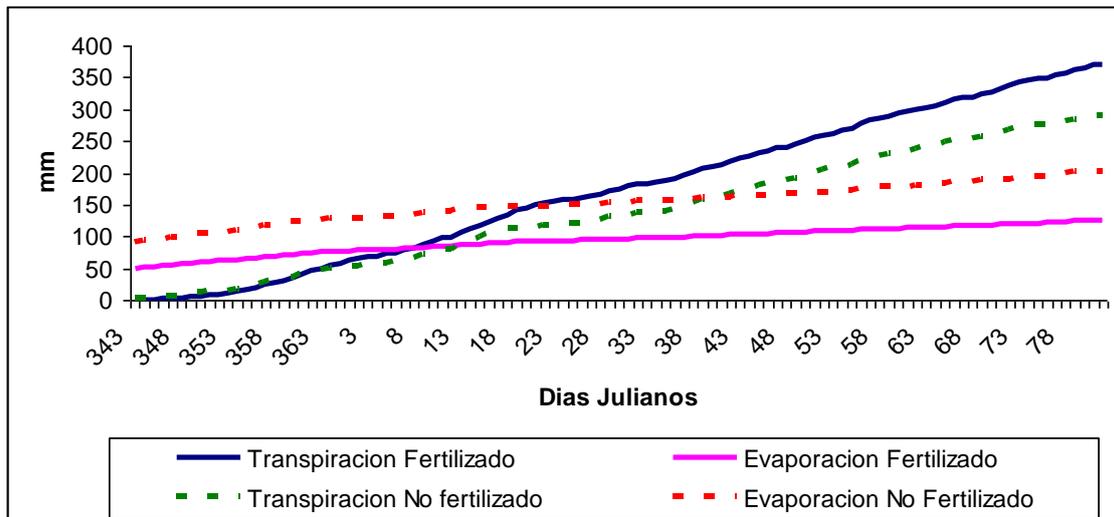


Figura 10, valores simulados de transpiración y evaporación de los tratamientos fertilizados en línea continua y no fertilizada en línea de puntos.

La Figura 10 muestra la evolución de la transpiración y evaporación en el tiempo, expresado como días desde la siembra del cultivo.

La mayor producción de materia seca en las parcelas fertilizadas, como se verá mas adelante, generó una rápida cobertura del entresurco, lo que trajo aparejado una reducción de la temperatura en la superficie del suelo, reduciendo así el potencial evaporativo (Dardanelli *et al.* 2003). Además la mayor cobertura con rastrojo en el tratamiento con fertilización (Cuadro 2, materiales y métodos), generó una mejora en la estructura del suelo, que incremento la porosidad estructural, actuando como una restricción al flujo de agua hacia la superficie del suelo (Dardanelli *et al.* 2003), mejorando el balance hídrico y permitiendo que las parcelas que traen historia de fertilización continua tengan mayor cantidad de agua disponible para transpirar y consecuentemente para la generación de mayor rendimiento.

Balance hídrico

Cuadro 9. Valores de transpiración, evaporación y escurrimiento simulado para cada Tratamiento y su repetición

	<i>Transp. (mm)</i>	<i>Evapor. (mm)</i>	<i>Ecurr. (mm)</i>
<i>Sin Fertilización 1</i>	376,6	125,16	127,43
<i>Sin Fertilización 2</i>	375,6	126,3	127,4
<i>Sin Fertilización 3</i>	355	141,92	99,23
<i>Sin Fertilización 4</i>	376,24	126	127,43
<i>Con Fertilización 1</i>	280	216	182,9
<i>Con Fertilización 2</i>	277,67	220,28	182,8
<i>Con Fertilización 3</i>	284,8	212,18	182,9
<i>Con Fertilización 4</i>	310	191	181,7

Cuadro 10, transpiración, evaporación y escurrimiento, parcelas con fertilización y sin fertilización.

	<i>Transpiración</i>	<i>Evaporación</i>	<i>Ecurrimiento</i>
<i>Sin Fertilización</i>	288.12 b	209.87 a	182.58 a
<i>Con Fertilización</i>	370.86 a	129.85 b	120.37 b
<i>DMS</i>	22.34	18.72	17.25
<i>% CV</i>	3.92	6.37	6.59

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

Como se aprecia en la tabla 10 se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, siendo las parcelas fertilizadas (F) en donde se obtuvieron los mayores valores de transpiración y los menores de evaporación y escurrimiento. Al contrario las parcelas no fertilizadas (SF) mostraron los mayores valores de evaporación y escurrimiento y los menores valores de transpiración. Esto se explica por un mayor crecimiento del cultivo debido a una mayor disponibilidad nutricional, lo que trajo aparejado una rápida y, mayor cobertura de la superficie del suelo aumentando el agua disponible para transpirar y reduciendo la evaporación desde el suelo.

Partición entre evaporación desde el suelo y transpiración

Con respecto a la partición de la ET, la transpiración promedio del tratamiento F representó un 74.1 % de la evapotranspiración real total, mientras que la evaporación lo fue en un 25.9 %, coincidiendo con Persaud y Khosla(1999) quien determino que la evaporación representa el 33 % de la evapotranspiración real del cultivo. Por el contrario, en el tratamiento SF la transpiración representó solo un 57.86 % del total evapotranspirado.

Las diferencias encontradas en la partición de la ET encuentran su diferencia principalmente en el nivel de rastrojos aportados al suelo por cultivos de maíz y soja durante los 12 años que las mismas parcelas fueron fertilizadas. Las prácticas de labranza conservacionista, que permiten el aprovechamiento de los rastrojos para mejorar la condición física superficial del suelo, incrementaron la capacidad de infiltración y disminuyeron la escorrentía superficial (Dardanelli *et al.* 2003), lo que devino en una mayor cantidad de agua disponible, que resultó en un aumento de la transpiración y consecuentemente un incremento en la producción de biomasa. Jalota and Prihar (1998) indican que cuanto mayor es la cantidad de rastrojos en superficie presente en el suelo, menor será la pérdida de agua a través de éste.

La mayor tasa de crecimiento (TCC) obtenida en las parcelas F permitió cubrir el entresurco y reducir la temperatura sobre la superficie del suelo reduciendo la evaporación y aumentando la cantidad de agua disponible para ser transpirada.

Por lo tanto la diferencia porcentual, en evaporación, entre los tratamientos F y SF (16.2 %), se explicaría, en parte, por la cobertura con rastrojos en superficie y por la rápida y mayor cobertura con vegetación.

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

A continuación se presenta el Cuadro 11, en donde se compara las EUA, tanto para la producción de materia seca (EUA_T MS) como para la producción de grano (EUA_T G). Como se puede apreciar en el Cuadro, el nitrógeno produjo diferencias estadísticamente significativas en el uso de agua para la producción de biomasa de cada tratamiento, modificando en uno u otro sentido las EUA analizadas.

Cuadro 11. Eficiencias en el uso del agua transpirada y evapotranspirada para la producción de materia seca

	EUA_T Ms	EUA_{ET} Ms
	Kg. Ms mm ⁻¹	Kg. Ms mm ⁻¹
<i>Sin Fertilización</i>	32.39 b	18.87 b
<i>Con Fertilización</i>	43.59 a	32.31 a
<i>LSD (0.05)</i>	5.22	3.27
<i>C.V. (%)</i>	19.07	17.75

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

Si analizamos el Cuadro 11, se observa mayor EUA_T en aquellas parcelas que fueron fertilizadas, mostrando diferencias estadísticamente significativas con respecto a las sin fertilizar. Además se encontró que esta mayor EUA se tradujo en una mayor EUA para la producción de grano ($EUA_T G$), como se observa en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Eficiencia en el uso del agua para la producción de grano

	EUA_T Grano	EUA_{ET} Grano
	Kg. Grano mm^{-1}	Kg. Grano mm^{-1}
Sin Fertilización	7,5 b	4,33 b
Con Fertilización	15,85 a	11,75 a
LSD (0.05)	2,25	1,29
C.V. (%)	11,16	9,33

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

Con respecto a la EUA_{ET} , como se aprecia en la tabla 11 y 12, las parcelas F presentaron EUA medias de $32.31 \text{ kg. mm}^{-1}$ y $11.75 \text{ kg. mm}^{-1}$, para producción de MS y grano respectivamente. En cambio en las parcelas SF las EUA_{ET} fueron de 18.87 y 4.33 kg. mm^{-1} para producción de MS y grano respectivamente. Estos resultados muestran que existió una diferencia significativa en el tratamiento F con respecto a NF probablemente debido a que en estos tratamientos la proporción de agua transpirada por el cultivo fue mayor (Cuadro 10), (Dardanelli *et al.* 2003).

La $EUA_T MS$ ($43.59 \text{ Kg. MS mm}^{-1}$), para el tratamiento fertilizado, coincide con los indicados por Maturano (2002) y Della Maggiore *etal.* (2000), que ascienden a $43.9 \text{ Kg. MS mm}^{-1}$ y $46 \text{ Kg. MS ha}^{-1}$, respectivamente.

Con respecto a la $EUA_T G$, se encontraron valores levemente inferiores ($15.85 \text{ Kg. grano mm}^{-1}$) a lo señalado por Maturano, (2002), presentando valores de $17.6 \text{ Kg. grano. mm}^{-1}$ transpirado, posiblemente debido a la pérdida del peso de mil granos producida por la caída de granizo.

Lo antes expuesto permite decir que la mayor producción de materia seca y de grano del cultivo con fertilización se debería, en su mayor parte, al incremento de la

proporción de la evapotranspiración representada por la transpiración y al aumento de la eficiencia fotosintética, es decir a una mayor EUA (Maturano, 2002).

Eficiencia en el uso de la radiación

En ausencia de limitaciones nutricionales, térmicas o hídricas, la radiación solar es la principal limitante del crecimiento del cultivo (Kiniry *et al.*, 1995).

III. 3. Radiación fotosintéticamente activa interceptada por la cubierta vegetal (RFAi)

La Figura 11 muestra la evolución de la RFAi en función de el % IR, calculados a partir del modelo de simulación en las diferentes fechas de muestreo.

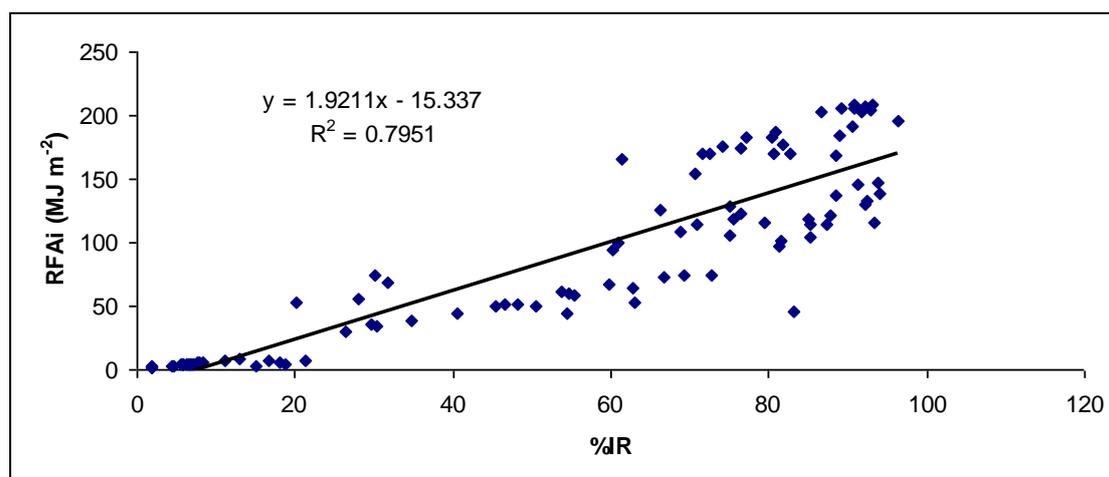


Figura 11, radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) en función del % de interceptación de la radiación (%IR).

La deficiencia de nitrógeno entre V_{10} y R_1 provocó una disminución del número de hojas por planta y, consecuentemente, la superficie foliar. Lo expresado por Plénet (1995), coincide con los resultados obtenidos, dado que ésta reducción en la superficie foliar trae aparejado descensos en la RFA i por la cubierta vegetal, por lo tanto aquellas parcelas que no fueron fertilizadas tendrán menor capacidad para interceptar la RFA.

Cuadro 13. RFAi acumulada entre estadio fenológico.

	E-V6	V6-V8	V8-V13	V13-R1	R1-R3
Sin Fertilización	3,87 b	49,12 b	108,52 b	172,16 b	142,9
Con Fertilización	5,62 a	60,52 a	129,9 a	200,20 a	171,59
LSD (0.05)	1,21	10,27	9,12	7,36	5,93
%CV	22,1	22,13	9,07	4,67	4,45

Valores expresados en $Mj\ m^{-2}$.

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

El Cuadro 12 muestra la RFAi acumulada entre estadios fenológicos. Claramente se aprecia que aquellas parcelas que recibieron fertilización mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos F y SF.

Cuadro 14, Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) por estadio fenológico

	E-V6	V6-V8	V9-V13	V13-R1	R1-R3
Sin Fertilización	2,60 b	1,26 b	1,82 b	2,21 b	2,18 b
Con Fertilización	3,71 a	2,09 a	2,57 a	2,82 a	3,74 a
LSD (0.05)	0,659	0,404	0,652	0,353	0,910
C.V. (%)	24,7	28,5	35,1	16,58	29,1

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación. LAS CORRECCIONES EN LAS LETRAS ESTAN BIEN. TENGO LOS ESTADISTICOS.

En el Cuadro 14, puede observarse las eficiencias en el uso de la radiación (EUR) por estadio fenológico. Puede observarse que en todos los estadios fenológicos evaluados los tratamientos que recibieron aporte de nitrógeno, resultaron en las mayores eficiencias en el uso de la radiación solar.

Cuadro 15, EUR durante el periodo crítico del cultivo

	V ₁₃ -R ₃
--	---------------------------------

<i>Sin Fertilización</i>	2,07 b
<i>Con Fertilización</i>	3,05 a
<i>LSD (0.05)</i>	0,3454
<i>C.V (%)</i>	15,95

En el Cuadro 15 se aprecian los resultados de EUR obtenidos durante el periodo crítico del cultivo de maíz. Estos reflejaron ser altamente significativos, dando valores de EUR de 3,74 g MJ⁻¹ en las parcelas fertilizadas y 2,18 g MJ⁻¹ en aquellas no fertilizadas. Estos valores resultan ser inferiores a otros hallados en la bibliografía para casos de tratamientos con fertilización, 4,40 g MJ⁻¹, (Plénet, 1995).

Sin embargo la EUR fue siempre inferior en las parcelas que no recibieron fertilización coincidiendo con Caviglia *et al.* (2001) quien señala que la mejora en la nutrición nitrogenada incrementa la eficiencia fotosintética de la planta.

III. 2. Producción de biomasa.

Cuadro 16, Producción de biomasa acumulada por estadio fenológico de maíz (AX 882), según tratamiento. Campaña 2006-2007. La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.

	V ₅	V ₈	V ₁₃	R ₁	R ₃	R ₆
Sin Fertilizar	109 b	696 b	2793 b	6645 b	9515 b	9315
Fertilizado	225 a	1458 a	4666 a	9654 a	16305 a	16105 ^a
DMS	29,11	145,75	611,97	987,33	1596,87	1395,47
CV %	24,06	18,74	22,72	16,72	17,13	17,40

Valores expresados en Kg. MS.ha⁻¹. de la parte aérea.

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

En el Cuadro 16, se presenta la acumulación de materia seca total. El análisis ha sido realizado para los dos tratamientos de fertilización.

Con respecto a la producción de materia seca total (MST), los mayores valores de acumulación de MS se dieron en los tratamientos fertilizados, estas diferencias significativas se observan en el Cuadro 16.

La producción de biomasa aérea depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el canopeo. El aporte de fertilizante

nitrogenado, como se demostró anteriormente, incrementó la RFAi y la eficiencia para convertir radiación solar en biomasa, incrementando la producción de biomasa como se demuestra en el Cuadro 16.

III. 2. 1. Rendimiento

El rendimiento en granos esta estrechamente asociado con la transpiración y fijación del dióxido de carbono. La captura del recurso agua, su uso eficiente (EUA) y la conversión de fotoasimilados a órganos de cosecha es de suma importancia para los cultivos (Passioura, J. B. 1996).

Estos factores pueden definirse en la siguiente ecuación:

$$G = T * EUA * IC$$

G: rendimiento en grano, *T*: transpiración; *EUA* eficiencia de uso del agua; *IC* índice de cosecha.

Cuadro 17, Rendimiento y componentes directos de un maíz (AX 882 IT) fertilizado y sin fertilizar, campaña 06-07, La Aguada, Córdoba.

	Kg ha ⁻¹	Nº de granos m ²	P1000
Sin Fertilizar	2153 b	1040 b	0,200b
Fertilizado	5870 a	2677 a	0,220a
DMS	361,03	180,83	22,29
CV %	8,18	9,07	9,80

P1000: Peso de mil granos.

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

El resultado estadístico para rendimiento en grano y sus componentes se presentan en el Cuadro 17. El tratamiento F, con una media de 5870 kg/ha arroja una diferencia significativa con el tratamiento SF, que registro una media de 2153 Kg/ha.

Estas diferencias en rendimientos permiten establecer que el tratamiento F fue un 63.34% superior al tratamiento SF, resultados que pueden ser explicados por diferencia en las condiciones iniciales del suelo (ver Cuadro 2, materiales y métodos) y por la rápida cobertura del entresurco, que permitieron una mayor eficiencia en el uso del agua y de la radiación.

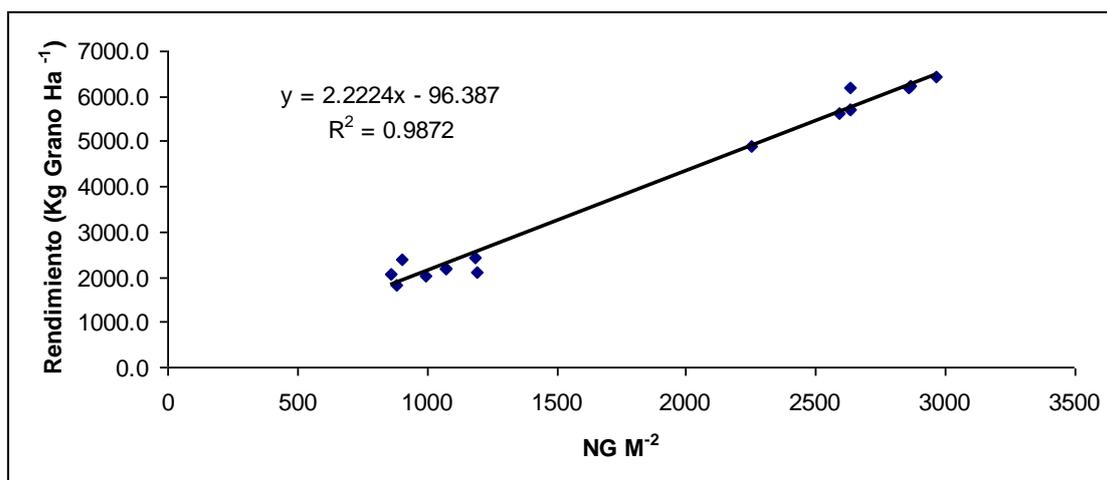


Figura.12. Rendimiento en función del número total de granos por m²

Por otro lado la diferencia de rendimiento se explica porque la fertilización incremento la TCC (Cuadro 18), donde el aumento de la TCC entre V₁₃ – R₃ produjo una mayor fijación del número de granos m⁻² (Figura 15). La relación que se encuentra es que por cada grano logrado por m² el rendimiento se incrementa en 2.2 kg ha⁻¹.

Con respecto al peso de mil granos (P1000), Andrade *et al.* (1996) y Uhart *et al.*, (1995) señalan que no se producen diferencias en los pesos por diferencias en el nivel de nitrógeno, no coincidiendo con estos resultados de esta tesis en donde si se observa dicha discrepancia (Cuadro 17).

Rendimiento y producción de materia seca

Coincidiendo con lo planteado por Howell and Tolk (1998), este ensayo permitió establecer una relación entre la producción total de biomasa en R₆ y el rendimiento del cultivo (R²:0,8236). Esta relación establece que por cada kg de MST producida hasta R₆ se incrementa el rendimiento en grano en 0.40 kg Ha⁻¹, representando ello un índice de cosecha del 40%.

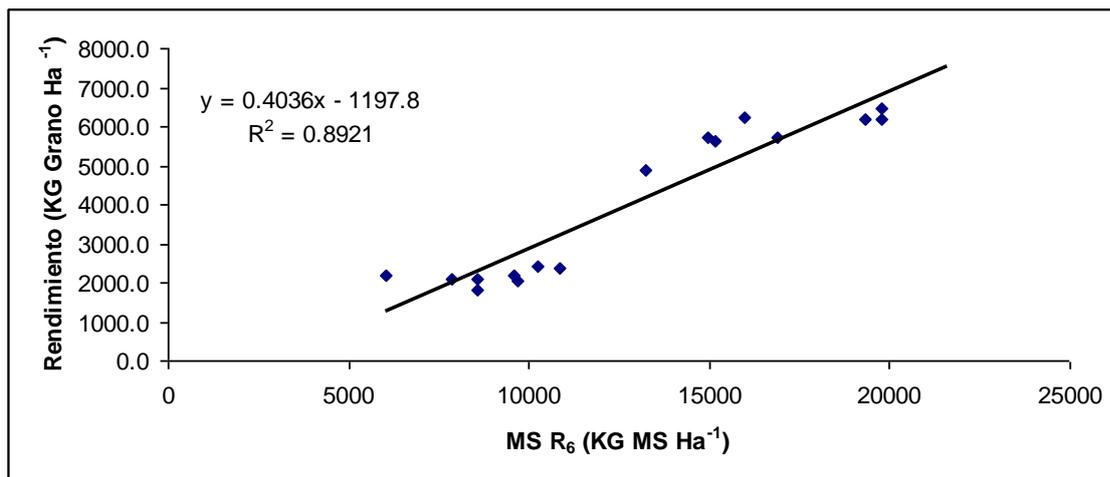


Figura 13, Rendimiento en función de la producción total de biomasa en R₆.

Tasa de crecimiento del cultivo y EUR

Con respecto a la relación de la TCC y la EUR, puede afirmarse según Sinclair *et al.*, (1989), que la tasa de crecimiento varía en proporción directa con la radiación interceptada, y a su vez la radiación interceptada varía en proporción directa con el %IR.

En la situación en que las parcelas fueron fertilizadas se registraron las mayores TCC, como se observa en la Figura 14. La fertilización nitrogenada incrementa la tasa de crecimiento durante el periodo crítico como consecuencia de una mayor radiación interceptada y una mayor eficiencia en su utilización, coincidiendo con lo expresado por Uhart y Andrade, 1995 quienes señalan que la fertilización nitrogenada suele incrementar tanto la interceptación de la radiación por el canopeo como la eficiencia de uso de la misma.

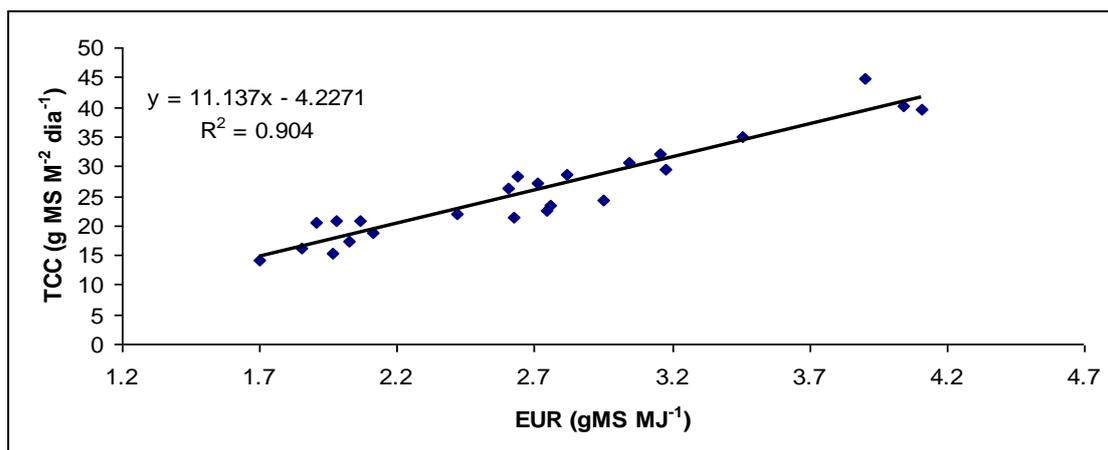


Figura 14. Tasa de crecimiento del cultivo en función de la Eficiencia en el uso de la radiación entre V_{13} - R_3 .

Cuadro 18, Tasa de crecimiento del cultivo por estadio fenológico, La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.

	$E-V_6$	V_6-V_9	V_9-V_{13}	$V_{13}-R_1$	R_1-R_3
Sin Fertilización	0,92 b	3,91 b	13,11 b	20,27 b	15,94 b
Con Fertilización	1,88 a	8,22 a	20,05 a	26,25 a	36,95 a
DMS	24,04	21,51	22,79	29,7	28,12
% CV	0,2423	0,9419	3,92	4,99	6,87

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación.

En las parcelas sin fertilización la restricción nutricional produjo una merma en el número de nuevas hojas y una menor área foliar por hoja, por lo cual la TCC del cultivo fue menor a las fertilizadas en todos los estadios evaluados (Cuadro 18), coincidiendo con lo expresado por Novoa y Loomis, 1981, quienes afirman que para el cultivo de maíz, un nivel inadecuado de nitrógeno resulta en una disminución en el crecimiento del área foliar y si la tasa de nitrógeno aportada para el crecimiento de nuevas hojas es restringida, la cantidad de área foliar producida también será limitada. En cambio las mayores TCC (Cuadro 18, Figura 14) fueron resultado de la mayor radiación interceptada (Uhart y Andrade, 1995) debido a la mayor expansión foliar producida por la fertilización (Gardner *et al.* 1985).

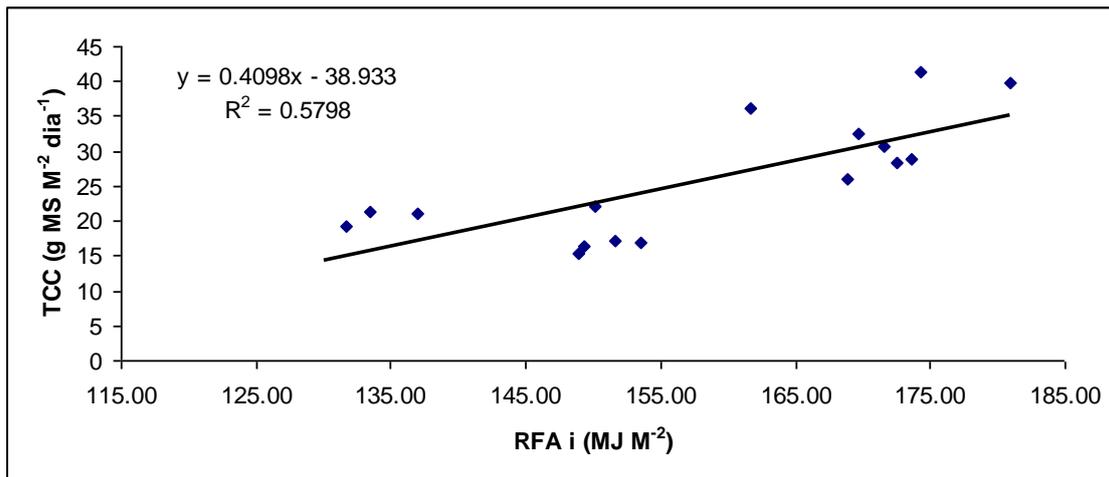


Figura 14. Tasa de crecimiento del cultivo en función de la Radiación fotosintéticamente activa interceptada.

Segun Nielsen (1997) una mayor TCC, provocada por la mayor expansión foliar, implicó fijar un mayor número de granos por m² y ello se tradujo en un mayor rendimiento, tal como se plantea en la Figura 15, donde por cada aumento de 1 g MS m⁻² d⁻¹ en la TCC entre V₁₃ y R₃, se obtienen 90.2 granos m⁻² más.

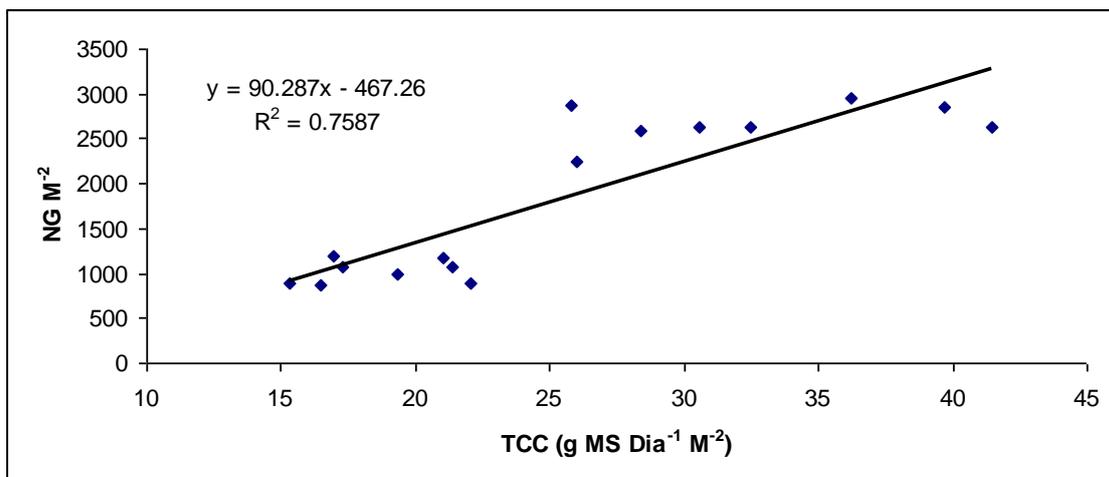


Figura 15. Número de granos por metro cuadrado en función de la Tasa de Crecimiento del Cultivo

El NG m⁻² está estrechamente relacionado con la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) y esta relación permite que aumentos en la RFAi signifiquen aumentos en la TCC (Figura 14). Esta correlación también puede observarse en la Figura 16 donde se determinó que por cada MJ m⁻² interceptado se logró incrementar 13.98 granos el número de granos m⁻².

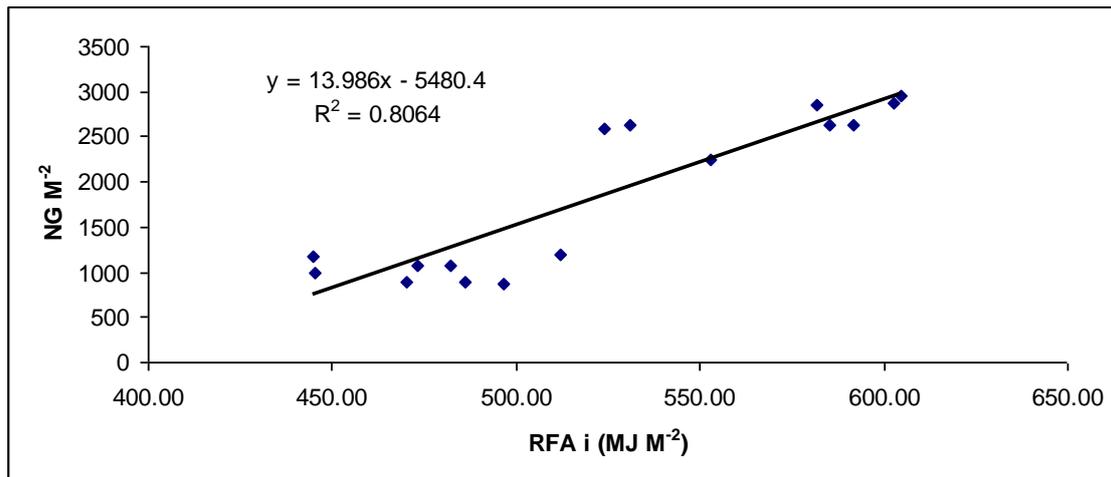


Figura 16. Número de granos por metro cuadrado en función de la Radiación Fotosintéticamente Activa

El mayor rendimiento obtenido en las parcelas fertilizadas fue resultado de una cadena de eventos que produjeron que las plantas que disponían más nitrógeno (por aplicación) y mayor cobertura del suelo (fertilización campañas pasadas) fueran más eficientes en la utilización de los recursos, para así generar mayor rendimiento.

INTEGRACION DE VARIABLES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo han permitido corroborar que en las parcelas del ensayo que recibieron el tratamientos de fertilización desde hace 12 años, el balance hídrico del suelo ha mejorado si lo confrontamos con las parcelas que no fueron fertilizadas. La mejora en la infiltración del suelo y la reducción del escurrimiento superficial, son indicadores de que la fertilización dio como resultado una mejora en condición estructural del suelo, que no fue evaluada en esta oportunidad. La optimización del balance hídrico en estos sitios permitió que el cultivo tenga mayor cantidad de agua disponible para transpirar produciendo mayor cantidad de materia seca y por ende un mayor rendimiento en grano.

Las estimaciones realizadas indican que el cultivo transpiró un 28,7% más de agua comparado con las parcelas no fertilizadas. Además del mayor volumen de agua transpirada la eficiencia de uso de la misma para la producción de materia seca del cultivo en las parcelas fertilizadas evidenció una notable mejora, ascendiendo a 43.59 comparado con los 32.39 kgMS mm⁻¹ para las parcelas no fertilizadas. Si nos referimos a la EUA_T para producir grano la misma se ubica en los 15,85 y 7,5 kg/ha mm⁻¹ para fertilizado respecto de no fertilizado. Estos resultados evidencian el gran impacto de la práctica de fertilización nitrogenada del cultivo.



Figura 5. Imagen tomada del ensayo el 12/02/07, en donde se aprecian los dos tratamientos.

En la fotografía 5 puede apreciarse una notable diferencia de altura y de coloración que presentaron ambos tratamientos.

La mayor biomasa producida por el cultivo de maíz en las parcelas fertilizadas permitió incrementar el porcentaje de radiación interceptada debido al mayor número y tamaño de las hojas. El cálculo de la eficiencia de uso de la radiación interceptada en las parcelas fertilizadas fue superior comparado con el tratamiento sin fertilización; los valores ascendieron a $3,74 \text{ g MJ}^{-1}$ y $2,18 \text{ g MJ}^{-1}$ respectivamente.

La mejora en la EUA y la EUR para el cultivo de maíz como consecuencia de la fertilización produjeron un incremento en la tasa de crecimiento del mismo. Las mayores TCC explican la mayor producción de granos m^{-2} , la cual, como vimos anteriormente, mantiene relación con el rendimiento en grano, permitiendo de esta manera que el rendimiento ascienda a 5870 kg/ha en aquellas parcelas fertilizadas, y de tan solo 2153 kg/ha en las parcelas sin fertilización.

IV. Conclusiones

- La fertilización nitrogenada produjo una mayor eficiencia en el uso del agua y de la radiación.
- Una mayor EUA y EUR contribuyeron a aumentar la tasa de crecimiento del cultivo.
- La mayor TCC arrojó un mayor número de granos por metro cuadrado.
- Como consecuencia de un mayor NG m^{-2} el rendimiento del cultivo de maíz fue mayor en el tratamiento fertilizado comparado con el no fertilizado.

Los resultados obtenidos permitieron comprobar la hipótesis planteada que motivó el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Por el grado de validación obtenido el Modelo SWB, podría ser utilizado para la simulación del balance hídrico del cultivo de maíz en el ambiente de estudio.

V. Bibliografía

NO LA REVISE, LO HACEMOS DESPUES DE REALIZAR TODAS LAS MODIFICACIONES

- ANDRADE, F. H., CIRILO, A., UHART, S. A. y OTEGUI, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, Dekalb Press. CRBAS/FAC-UN Mar del Plata. 292 p.
- ANDRADE, F. H., AGUIRREZÁBAL, L. A. N. AND RIZZALLI, R. H., 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. In Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja, Eds F. H. Andrade and V. O. Sadras. pp 61-96. INTA-Universidad de Mar del Plata, Balcarce.
- ARGUISSAIN, G. G. 1990. Productividad de maíz en Balcarce. Tesis Magister Scientiae. Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 60 pp.
- BOOTE, K. J., JONES, J. W. y PICKERING, N. B. 1996. Potential Uses and limitations of crop models. Agron. J. 88: 704-716.
- BECKER, A. 2001. Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Informe Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 30 págs.
- BECERRA V. 1999. Plan Director. ADESUR (Asociación Interinstitucional para el Desarrollo del Sur de Córdoba). Edición: Dpto. Prensa y Publicaciones. Universidad Nacional de Río Cuarto.:51-68.
- CAMPBELL G. S. and C. O. STÖCKLE 1993. Prediction and simulation of water use in agricultural system. In: International Crop Science, Crop Science of America. Madison.:67-73.
- CANTÚ, M.P., 1992. Holoceno de la Prov. de Córdoba. Manual: Holoceno de la República Argentina. Tomo I. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. 24 págs. Ed. Martín Iriondo. Paraná. Argentina.
- CAVIGLIA O.P. and V.O. SADRAS 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation use efficiency of wheat. Field Crops Research 69:259-266

- COOPER. P.J.M., PJ. GREGORY. D. TULLY y H.C. HARRIS. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Expl. Agric.* 23: 113-158.
- COX, W. J., KALONGE, S., CHERNEY, D. J. R. y REID, W. S. 1993. Growth, yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 85: 341-347.
- DARDANELLI, J.; COLLINO, D.; OTEGUI, M. E. y SADRAS V. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Capítulo 16.: en Producción de granos. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Pag. 377-440.
- DELLA MAGGIORA A.I; GARDIOL J.M. y IRIGOYEN A.I. 2000. Requerimientos hídricos. En Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editores: F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. Pp 155-171.
- DEGIOANNI, A. 1998. Organización Territorial de la Producción Agraria en la Región de Río Cuarto. Tesis Doctoral. Universidad Alcala de Henares. España. 380 pág.
- ECHARTE L.; MALENA L. y DELLA MAGGIORA A. 2006. Caracterización agroclimática del período crítico del cultivo de maíz en Balcarce (Argentina). Unidad Integrada Balcarce (Universidad Nacional de Mar del Plata-EEA INTA Balcarce), Balcarce.
- ESTRADA ESCALANTE, A. 2001 Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. Publicado en *Terra* 19: 19-27.
- ECK, K, P. HILL and J. WILCOX 1994. Estimating Corn and soybean residue cover. AY-269. Purdue University Cooperative Extension Service. West Lafayette, IN, USA.
- FAIR 1 CT95-0088. 1999. Water, agriculture and environment interactions. Reducing the impacts of water applications heterogeneity on: nitrates leaching, water losses and economic yields. Rapport d'avancement NIWASAVE rédigés á l'issue de la 3 éme période. Final report.
- FORSYTHE, W. 1980. Física de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Cap. 3.:17-27.
- GARDNER, F.P.; BRENT PEARCE, R; MITCHEL, R.L. 1985. Carbon fixation by crop cano-pies. In: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Pp. 31-57.

- GILMORE, E. y ROGERS, J. S. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50:611-615.
- HOWELL T. A. and J. A. TOLK 1998. Water use efficiency of corn in the U. Southern High Plains. 90th Annual Meeting of Agronomy, Land, Water and Biological Resources. ASA, CSSA and SSSA. Baltimore, MD.
- HUNTER, R. B., HUNT, L. A. AND KANNENBERG, L. W. 1974. Photoperiod and temperature effects on corn. *Can. J. Plant Sci.* 54: 71-78.
- INFOSTAT (2004). InfoStat versión 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- JALOTA, S. K. and S. S. PRIHAR 1998. Reducing soil water evaporation with tillage and straw mulching. Iowa State Press. Ames. Chap. 1.:1-7.
- JONES, C. A. AND KINIRY, J. R. 1986. CERES-maize. A simulation of maize growth and development. Texas, A&M Univ. Press.
- KINIRY, J. R. and KNIEVEL, D. P. 1995. Response of maize seed number to solar radiation intercepted soon after anthesis. *Agron. J.* 87:228-234.
- LAGUNA, I.G. y DI FEO, L. DEL V. PROMARC (Proyecto Mal de Río Cuarto). Hoja Informativa N° 3. Instituto de Fitopatología y Fisiología Vegetal (IFFIVE-INTA), Córdoba, Argentina. 1997.
- LENARDON, S.L., MARCH, G.J., NOME, S.F. & ORNAGHI, J.A. 1998. Recent Outbreak of "Mal de Río Cuarto Virus" on Corn in Argentina. *Plant Disease* 82:448.
- LENARDON, S.L., MARCH, G.J. y ORNAGHI, J.A. 1999. Virus del mal de Río Cuarto en maíz. In: Enfermedades de los Cultivos Extensivos e Intensivos. Hoja informativa. Instituto de Fitopatología y Fisiología Vegetal (IFFIVE-INTA), Córdoba, Argentina.
- LENARDON, S.; VALLOTE, P.; MARCELINO, J.; GIOLITTI, F.; de BREUIL, S. y SALOMON, A. 2007. Comportamiento de híbridos comerciales de maíz frente al virus del mal de Río Cuarto (MRDV) en el área endémica 2006/2007. *Maíz Actualización 2007*. INTA Marcos Juárez.
- NIDERA S.A. Publicado en Internet, disponible en: <https://www.niderasemillas.com.ar/NideraSemillas/maiz.aspx>. Activo Junio 2008.
- NIELSEN R. L. 1997. Corn growth & development. What goes on from planting to harvest?. *AGRY -97-07 (v1)* Purdue University.:54 pp.
- NOVOA, R. and LOOMIS, R. S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil.* 58:177-204.

- MATURANO, M.2002. Estudio del uso del agua y del nitrógeno dentro del marco de una agricultura sostenible en las regiones maiceras castellano-manchega y argentina. Tesis Doctoral. Albacete, España.
- MARCH, G. J., ORNAGHI, J. A., BEVIACQUA, J. E.,LENARDÓN, S. L.1997. Manual Técnico del Mal de Río Cuarto. CREA Chaján-Sampacho. Editado por Morgan.
- MARCOS J. 2001. Sistema Suelo-planta. Agua en el suelo. Material de apoyo para el curso de grado: Sistema Suelo-Planta. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- MONTEITH, J. I. 1996. The quest for balance in crop modelling. *Agron. J.* 88: 704-716
- MICUCCI, F. y ÁLVAREZ, C. 2003. El agua en los cultivos extensivos III: Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. *Archivo agronómico* N° 8. *Informaciones Agronómicas* N° 20. INPOFOS Cono Sur, Argentina.
- OGOLA J. B. O.; T. R. WHEELER and P. M. HARRI. 2002 Effect of nitrogen and irrigation on water use of maize crops. Department of agronomy, Egerton University. Kenia.
- PASSIOURA, J. B. 1996. Simulation models: science, snake oil, education or engineering. *Agron. J.* 88: 704-716.
- PASSIOURA, J. B. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Reg.* 20:79-83.
- PERSAUD, N. and KHOSLA R. 1999. Partitioning soil – water losses in different plant populations of dry – land corn. *Agric. Water manag.* 42: 157 – 172.
- PLÉNET, D. 1995. Fonctionnement des cultures de maïs sous contrainte azotée. Détermination et application d'un indice de nutrition. Thèse de Docteur, INPL, Nancy, France. Université. 115 pp.
- PRIESTLY, C. And R. TAYLOR 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Weather Rev.* 100, 81-92.
- RITCHIE, J. 1985. A user orientated model of the soil water balance in wheat. Plenum Publishing Corporation
- RITCHIE W. y J. HANWAY. 1997. How a corn plant develops. Special Report N° 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames. Iowa.: 21p.
- SINCLAIR, T. R., TANNER, C. B. and BENNET, J. M. 1984. Water-use efficiency in crop production. *BioScience* 34: 36-40.
- SINCLAIR, T. R. and HORIE, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use

efficiency: A review. Crop Sci. 29:90-98.

TANNER, C. and T. SINCLAIR 1983. Efficient water use in crop production: Research or Reasearch?. In: Limitations to efficient water use in crop production, 1-27 H. M. Taylor Eds. Pub by ASA, CSSA and SSSA. Madison.

TROEH, F.; J. HOBBS and R. DONAHUE 1991. Water conservation. In: Soil and water conservation 2nd ed. Prentice Hall Career & Technology, New Jersey.:343-370.

UARTH, S. A., y ANDRADE, F. H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. Crop Sci. 35: 1376-1383.

VENTIMIGLIA L. A. y TRORENS L., 2008. Mal de Río Cuarto. Evaluación de pérdidas en híbridos. AER INTA 9 de Julio.

WAGGER M. G. and D. K. CASSEL 1993. Corn yield and water-use efficiency as affected by tillage and irrigation. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:229-234.

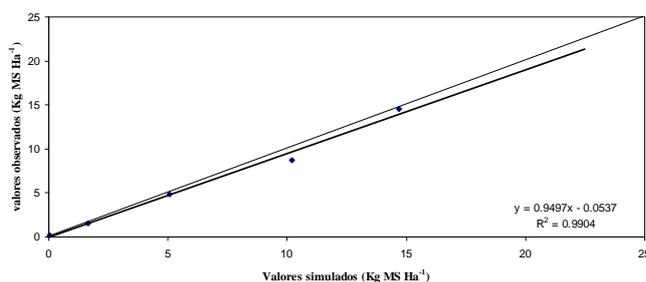
WILLMOTT, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorological Society. Vol. 63 No. 11.:1309-1313.

ANEXOS

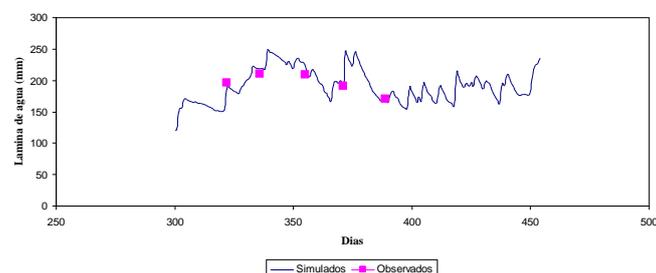
Valores de coherencia encontrado en cada una de las parcelas

Parcela 1, tratamiento con fertilización nitrogenada

Observado- simuladoMST



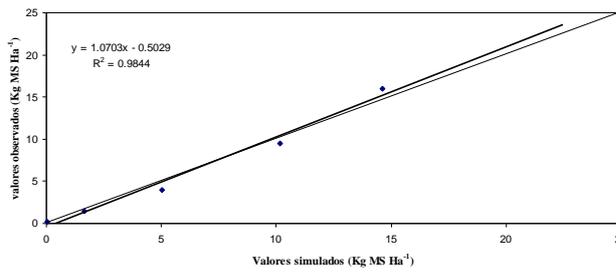
Observado –simulado lamina de



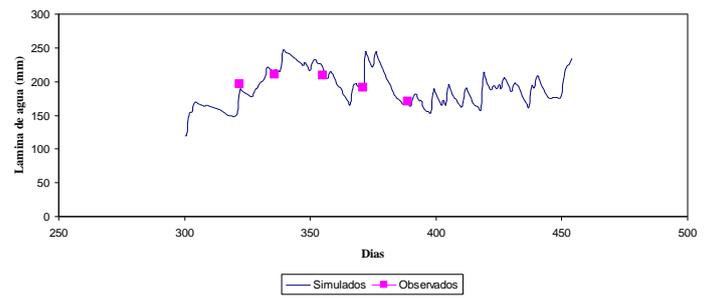
aqua

Parcela 2, tratamiento con fertilizaron nitrogenada

Observado- simulado MST



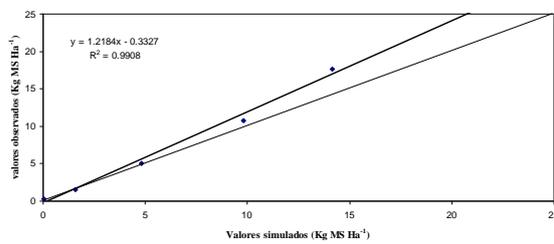
Observado- simulado lamina de



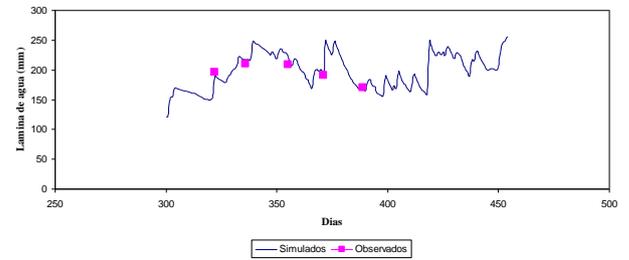
aqua

Parcela 3, con fertilización nitrogenada

Observado – simulado MST

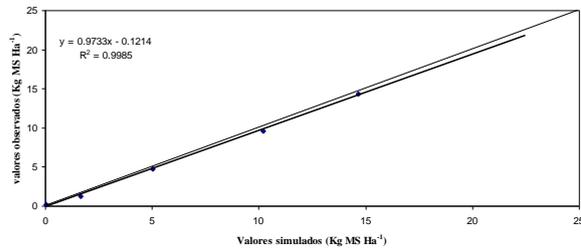


Observado – simulado lamina de agua

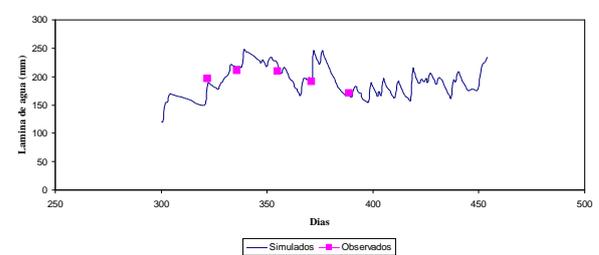


Parcela 4, con fertilización nitrogenada

Observado – simulado MST

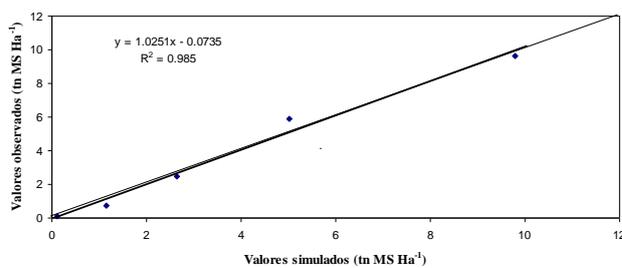


Observado – simulado lamina de agua

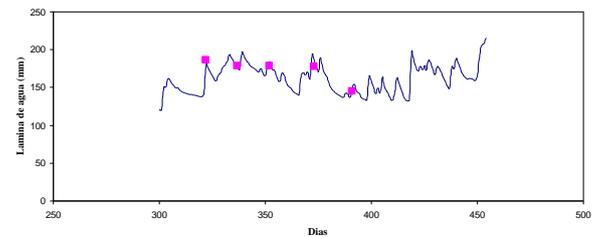


Parcela 1, sin fertilización nitrogenada

Observado – simulado MST

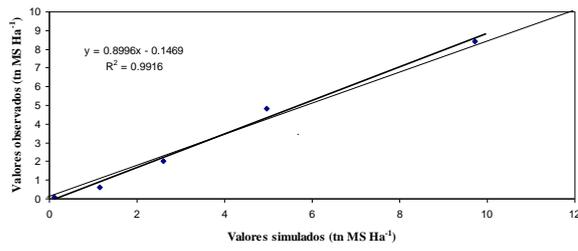


Observado – simulado lamina de agua

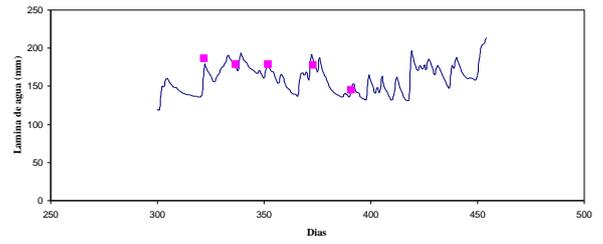


Parcela 2, sin fertilización nitrogenada

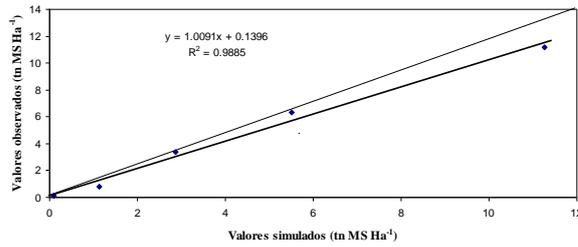
Observado – simulado MST



Observado – simulado lamina de agua

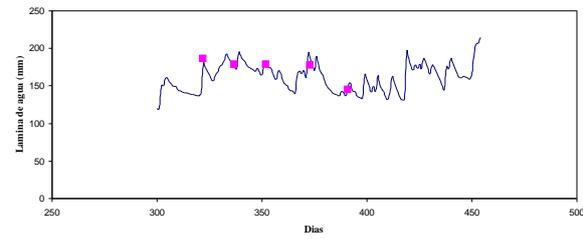


Parcela 3, sin fertilización nitrogenada



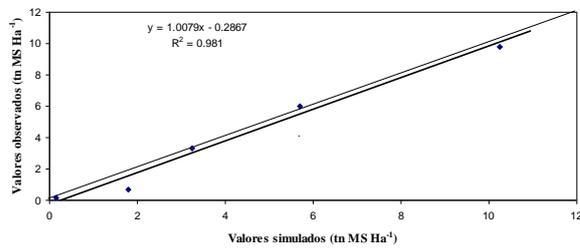
Observado – simulado MST

Observa
do –
simulad
o lamina
de agua

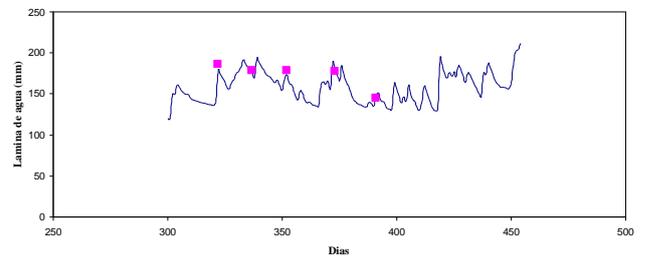


Parcela 4, sin fertilización nitrogenada

Observado – simulado MST



Observado – simulado lamina de agua



Puede apreciarse el nivel de coherencia encontrada en todas las parcelas mediante la simulación del programa SWB.