

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

Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

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

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

Director: Ing. Agr. Esposito Gabriel

Co-director: Ing. Agr. Castillo Carlos Alberto

**Río Cuarto - Córdoba
Octubre de 2009**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Efecto de la fertilización nitrogenada bajo siembra directa sobre la eficiencia en el uso del agua, producción de materia seca y rendimiento de maíz.

Autor: Pérez Nicolás Alfredo

DNI: 31710342

Director: Gabriel Esposito

Codirector: Carlos Alberto Castillo

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

Américo Degioanni _____

Marta Vinocur _____

Miguel Reynero _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

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

INDICE DE CUADROS.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE FOTOS	VIII
RESUMEN	IX
SUMMARY.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I. 1. HIPÓTESIS:.....	<u>43</u>
I.2. OBJETIVOS:.....	<u>43</u>
I.2.1. OBJETIVO GENERAL:.....	<u>43</u>
I.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:	<u>43</u>
II. MATERIALES Y MÉTODOS	<u>65</u>
II.1. AREA EXPERIMENTAL.....	<u>65</u>
II.2. DESCRIPCION DEL SUELO BAJO ESTUDIO	<u>76</u>
II.3. DESCRIPCION MORFOLOGICA DEL PERFIL DEL SUELO	<u>76</u>
II.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	<u>87</u>
II. 5. DETERMINACIONES REALIZADAS	<u>98</u>
II. 5. 1. FENOLOGIA DEL CULTIVO:.....	<u>98</u>
II.5.2. MATERIA SECA TOTAL DE LA PARTE AEREA:	<u>98</u>
II.5.3. RENDIMIENTOS Y COMPONENTES:.....	<u>109</u>
II.5.4. INTERCEPCION DE LA RADIACION (IR):	<u>109</u>
II. 5.5. EFICIENCIA EN EL USO DE LA RADIACIÓN:.....	<u>109</u>
II. 5. 6. HUMEDAD GRAVIMÉTRICA:	<u>1140</u>
II. 5. 7. LÁMINA DE AGUA:	<u>1140</u>
II. 5. 8. INCIDENCIA DE ENFERMEDADES:	<u>1244</u>
II. 5. 9. EFICIENCIA DE USO DEL AGUA:	<u>1244</u>
II.6. DESCRIPCIÓN DEL MODELO SWB	<u>1342</u>
II.7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	<u>1544</u>
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	<u>1746</u>
III.1. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y RADIACIÓN SOLAR DURANTE LA CAMPAÑA 2006- 2007:.....	<u>1746</u>
III.1.1. TEMPERATURAS.....	<u>1746</u>
III.1.2.PRECIPITACIONES	<u>1847</u>
III.1.3. RADIACIÓN SOLAR GLOBAL	<u>1847</u>
III.2. SANIDAD DEL CULTIVO: MAL DE RÍO CUARTO:.....	<u>1948</u>

III.3. FENOLOGÍA DEL CULTIVO.....	2019
III. 4. BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE MAÍZ	2120
III. 4. 1. CALIBRACIÓN DEL MODELO SOIL WATER BALANCE (SWB) ..	2120
III. 4. 2. VALIDACIÓN DEL SWB	2524
III. 4. 3. EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN	2625
III.4. 4. BALANCE HÍDRICO	2726
III.4.5.PARTICIÓN ENTRE EVAPORACIÓN DESDE EL SUELO Y TRANSPIRACIÓN.....	2827
III. 4. 6. PRODUCCIÓN DE BIOMASA	2928
III. 4. 7. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)	2928
III. 4. 8. RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA INTERCEPTADA POR LA CUBIERTA VEGETAL (RFAI).....	3130
III. 4. 9. RENDIMIENTO	3231
III. 4. 9. 1. RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA.....	3433
III. 4. 9. 2. TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO.....	3534
IV. CONCLUSIONES	4038
V. BIBLIOGRAFÍA	4139
IV. ANEXOS	4745

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción del perfil del suelo.....	6
Cuadro 2. Cantidad de materia seca total (MST) del rastrojo y % de cobertura con rastrojo de la superficie del suelo. Evaluaciones realizadas previo a la siembra del cultivo de maíz ...	6
Cuadro 3. Densidad aparente (PEA) en Mg m^{-3} obtenida en cada una de los bloques bajo estudio.....	7
Cuadro 4. Incidencia de Mal de Río Cuarto en maíz AX 882 IT. La Aguada, Córdoba	18
Cuadro 5. Fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos de maíz Nidera AX 882 IT	19
Cuadro 6. Suma térmica medias ($^{\circ}\text{C}$) y lluvias (mm) acumuladas entre estadios fenológicos a lo largo del ciclo del cultivo de maíz durante la campaña 2006-2007, para todos los tratamientos y parcelas, en La Aguada, Dist Río Cuarto, Pcia. de Córdoba.....	20
Cuadro 7. Valores asignados a los parámetros del modelo de simulación SWB durante la calibración realizada utilizando los datos del bloque 4, para producción de materia seca y lámina de agua	21
Cuadro 8. Índices de ajuste para materia seca total (MS) en R_6 (Kg MS ha^{-1}) y lámina de agua (mm) arrojados por el modelo de simulación SWB	24
Cuadro 9. Valores de transpiración (mm), evaporación (mm) y escurrimiento (mm) acumulados obtenidos del modelo de simulación para cada tratamiento y su correspondientes repeticiones (bloques).....	26
Cuadro 10. Valores de transpiración (mm), evaporación (mm) y escurrimiento (mm) acumulados, simulados en parcelas con y sin fertilización.....	27
Cuadro 11. Valores observados de biomasa acumulada (kg MS ha^{-1}) por estadio fenológico para maíz (Nidera AX 882 IT), según tratamiento, durante la campaña 2006-2007 en La Aguada, Dpto. Río Cuarto, Pcia. de Córdoba	28
Cuadro 12. Eficiencias en el uso del agua transpirada ($\text{EUA}_T \text{ MS}$) y evapotranspirada ($\text{UEA}_{ET} \text{ MS}$) para la producción de materia seca total, obtenidas a partir de los valores simulados de transpiración (mm) y evapotranspiración (mm).....	28
Cuadro 13. Eficiencia en el uso del agua transpirada ($\text{EUA}_T \text{ Grano}$) y evapotranspirada ($\text{UEA}_{ET} \text{ Grano}$) para la producción de granos, calculadas a partir de los valores transpiración y evapotranspiración obtenidas de simulación y producción de granos observada en cada tratamiento	29
Cuadro 14. Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAi) (Mj m^{-2}) para diferentes subperiodos a lo largo del ciclo del cultivo	30
Cuadro 15. Eficiencia en el uso de la radiación (g MS MJ m^{-2}) en diferentes subperiodos a lo largo del ciclo del cultivo.....	31
Cuadro 16. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) (gMS MJ m^{-2}) durante el periodo	

crítico del cultivo de maíz (Nidera AX 882 IT).....	31
Cuadro 17. Rendimiento (kg G ha^{-1}) y numero de granos por metro cuadrado ($\text{N}^{\circ} \text{G m}^{-2}$) y peso de 1000 granos (g) para maíz (Nidera AX 882 IT) fertilizado y sin fertilizar, durante la campaña 2006-2007 en La Aguada, Dpto. Río Cuarto, Pcia. de Córdoba.....	32
Cuadro 18. Tasa de crecimiento (gMS dia^{-1}) del cultivo de maíz durante distintos subperiodos a lo largo del ciclo del cultivo en La Aguada, Dpto. Río Cuarto, Pcia.de Córdoba.....	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano del ensayo	8
Figura 2. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas medias decádicas de la campaña 2006-2007 y normales (serie 1993-2007) en La Aguada (Cba).....	16
Figura 3. Precipitaciones normales decádicas y de la campaña 2006-2007(mm), para La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.....	17
Figura 4. Radiación solar global normal decádica y para la campaña 2006-2007(MJ m ⁻²), para La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.....	18
Figura 5. Valores simulados y observados de producción de materia seca total (Tn MS ha ⁻¹) para el tratamiento con fertilización nitrogenada.....	22
Figura 6. Valores simulados y observados del contenido hídrico (mm) hasta el metro de profundidad del perfil, registrados en el tratamiento fertilizado del bloque 4	22
Figura 7. Valores simulados y observados de producción de materia seca total (Tn MS ha ⁻¹) en el tratamiento sin fertilización nitrogenada	23
Figura 8. Valores simulados y observados del contenido hídrico (mm) hasta el metro de profundidad del perfil, registrados en el tratamiento sin fertilizar del bloque 4	24
Figura 9. Valores simulados de transpiración y evaporación diaria (mm día ⁻¹) correspondientes a los tratamientos con y sin fertilización nitrogenada	25
Figura 10. Valores simulados de transpiración acumulada y evaporación acumulada de los tratamientos fertilizados (línea continua) y no fertilizada (línea de puntos).....	26
Figura 11. Rendimiento (kg Grano ha ⁻¹) observados en función del número total de granos por m ² , para los tratamientos con y sin fertilización	33
Figura 12. Rendimientos (kg MS ha ⁻¹) observados en función de la producción total de biomasa (kg MS ha ⁻¹) acumulada durante todo el ciclo del cultivo, para los tratamientos con y sin fertilización.....	33
Figura 13. Relación entre la Tasa de crecimiento del cultivo (g MS día ⁻¹ m ⁻²) y la eficiencia en el uso de la radiación (gMS MJ m ⁻²) para los tratamientos con y sin fertilización, entre V ₁₃ -R ₃ , confeccionado a partir de 3 muestras por bloque de RFAi	34
Figura 14. Relación entre la tasa de crecimiento del cultivo (g MS día ⁻¹) y la Radiación fotosintéticamente activa interceptada (MJ m ⁻²)	35
Figura 15. Relación entre el número de granos por metro cuadrado y la tasa de crecimiento del cultivo entre V ₁₃ y R ₃	36
Figura 16. Relación entre el número de granos por metro cuadrado y la Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada entre V ₁₃ y R ₃	36

INDICE DE FOTOS

Foto 1. Imagen tomada del ensayo el 12/02/07, en donde se aprecian los dos tratamientos 37

RESUMEN

La cantidad de biomasa o granos que produce un cultivo puede calcularse como el producto entre la cantidad de recursos que son capturados y la eficiencia con que éstos son convertidos en órganos cosechables. El propósito de la presente investigación consistió en evaluar y cuantificar los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia de uso del agua (EUA) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), para la producción de maíz. Para ello se estableció un ensayo de maíz en el campo de experimentación y docencia de la U.N.R.C. ubicado en el paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con 4 repeticiones. Se establecieron dos tratamientos: fertilizado con nitrógeno ($60,4 \text{ kg ha}^{-1}$) y sin fertilización nitrogenada. En los estadios fenológicos V₆, V₉, V₁₃, R₁, R₃ y R₆ se tomaron muestras de materia seca, contenido de agua del suelo e intercepción de la radiación. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante ANAVA, test de separación de medias y análisis de regresión. Los resultados mostraron que la aplicación de nitrógeno se correlaciona con una mayor EUR, EUA y tasa de crecimiento del cultivo (TCC), 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 produjo 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.

Palabras claves: fertilización - eficiencia - maíz - uso del agua - nitrógeno

SUMMARY

"The effect of nitrogen fertilization under direct seeding on water use efficiency, dry matter production and corn yield."

The amount of biomass or grain that produces a crop can be calculated as the product between the amount of resources captured and the transformation efficiency into harvestable organs. The purpose of this investigation was to evaluate and quantify the effect of nitrogen fertilization on water use efficiency (WUE) and radiation efficiency (RUE) for corn production. For this purpose, one corn field trial was carried out at the UNRC experimental farm located in La Aguada, Río Cuarto, Córdoba. The experimental design was completely randomized blocks with four replications. There were two treatments: fertilized with nitrogen (60.4 kg ha^{-1}) and non-fertilized. At growth stages V₆, V₉, V₁₃, R₃ and R₆ soil water content, dry matter and intercepted radiation were sampled. Results were analyzed by ANOVA, mean separation test and regression analysis. Results showed that fertilization resulted in high RUE, WUE and crop growth rate (CGR), leading to the following conclusions: (a) nitrogen fertilization increased water and radiation use efficiency, (b) the increment of CGR produced more numbers of grains by m^{-2} , and (c) as a result of the increment of NG by m^{-2} , yield was higher in the fertilized treatment compared to the unfertilized one.

Keywords: fertilization - efficiency - corn - use of water - nitrogen

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la agronomía es optimizar los rendimientos económicos en un marco de sostenibilidad del sistema de producción. Sin embargo, hasta el presente, el incremento del rendimiento de los cultivos está asociado al aumento en el uso de insumos, lo que representa un importante subsidio energético (Maturano, 2002). No obstante este aumento de la productividad ha suministrado globalmente alrededor del 60% de los alimentos (FAO, 2002).

El rendimiento alcanzable en la producción de los cultivos está limitado básicamente por la disponibilidad de agua y nutrientes (Van Ittersum y Rabbinge, 1997). El agua fue considerada desde siempre, como el factor que más incide en la producción de alimentos en el mundo. El desafío constante es conocer cómo el clima, el suelo, la genética vegetal y el manejo cultural pueden ser combinados para aumentar la eficiencia del uso del agua por los cultivos. La evaluación cuantitativa del agua del suelo constituye entonces una herramienta fundamental para comprender tales interacciones y establecer pautas de manejo que optimicen su uso en el sistema de producción (Micucci y Alvarez, 2003). Por otro lado, el nitrógeno (N) es el más importante entre los nutrientes esenciales de los cultivos, por su rol en los sistemas biológicos, la complejidad de su ciclo y su participación en los sistemas de producción. Además, es el elemento que más comúnmente limita la producción de los cultivos de grano (Madonni *et al.*, 2003). Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca reducciones severas en el crecimiento del cultivo, básicamente por una menor tasa de crecimiento y expansión foliar que reducen la captación de la radiación fotosintéticamente activa (Alvarez *et al.*, 2005).

Para cuantificar el agua disponible en un sistema de producción resulta útil el empleo de un balance de agua del suelo, el cual es el producto de las diferencias entre los ingresos y los egresos o pérdidas del sistema. Si los ingresos superan a los egresos el agua podrá acumularse en el perfil del suelo explorado por el cultivo. El consumo de agua de los cultivos, está determinado por una tasa de transpiración cercana a la que establece la demanda atmosférica, siendo esta directamente influenciada por las condiciones ambientales que se dan en cada campaña (Dardanelli *et al.*, 2003).

La recarga del perfil puede ser condicionada por características físicas de los suelos como encostramiento y baja tasa de infiltración, dando lugar a una baja eficiencia de captación del agua proveniente de las precipitaciones. Esta es una de las causas por las cuales los cultivos a pesar de contar con suficientes lluvias, no tengan los niveles hídricos

necesarios para satisfacer sus necesidades de agua en los momentos críticos (Quiroga *et al.*, 2003).

Las pérdidas de agua del perfil 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). En relación al efecto de la cantidad de rastrojo superficial sobre el balance hídrico del maíz, Espósito (2002) ha señalado que la pérdida de cobertura por pastoreo incrementa el encostramiento superficial del suelo y las pérdidas por evaporación, razón por lo cual concluye que a mayor disponibilidad de rastrojos mayor oferta de agua para los cultivos. En este sentido el advenimiento del sistema de siembra directa (SD) ha tenido gran difusión debido a sus ventajas operativas y, fundamentalmente, en lo que respecta a la conservación del agua y al control de la erosión (Agostini, 2006).

Una consecuencia favorable de los sistemas que dejan rastrojo en superficie es que se produce un incremento en la proporción de carbono orgánico y en la estabilidad de los agregados; por lo que disminuye la agresión de la maquinaria sobre el suelo y son evitados procesos erosivos (Aparicio *et al.*, 2002).

La siembra directa (SD) además, reduce la temperatura del suelo y aumenta la humedad dando como resultado menor mineralización del nitrógeno orgánico (Barandiaran *et al.*, 2003). Domínguez *et al.* (2001) reportó que cuando la oferta hídrica no fue limitante, es el nitrógeno quien condiciona en siembra directa la expresión del potencial de los cultivos. Similares resultados fueron reportados por Fabrizzi (2000), dado que a mayor compactación del suelo, las raíces se encuentran limitadas para su exploración, y por ende para la absorción de nutrientes y agua.

Por otro lado, uno de los principales insumos utilizados en la agricultura moderna es la fertilización química con nitrógeno y fósforo. En este sentido, cabe destacar que sólo un 33% del total de nitrógeno (N) aplicado a nivel mundial es aprovechado por los cultivos (Raun y Johnson, 1999).

Para evaluar la respuesta a la aplicación de diferentes insumos se han propuesto parámetros de eficiencia que son capaces de cuantificar la respuesta a los mismos. 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 (Otegui *et al.*, 1995). En tanto que 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. En maíz se han encontrado resultados muy dispares en la EUA para la producción de materia seca, oscilando entre 19 y 25 kg MS mm⁻¹ de agua consumida, mientras que para la producción de grano los valores encontrados variaron entre 10,8 (Marozzi *et al.*, 2005) y 20,8 (Martelotto *et al.*, 2005) kg grano mm⁻¹ de agua consumida, dependiendo de las condiciones bajo la que se desarrolló el cultivo.

Por otro lado, diversos autores han mencionado la interacción entre el aprovechamiento del nitrógeno del fertilizante y la oferta hídrica durante el desarrollo del cultivo. Quiroga *et al.* (2003) señala que las limitaciones hídricas condicionan una baja eficiencia de uso del N, tanto del N mineralizado, como del aportado por la fertilización. Para el Dpto. Río Cuarto, Espósito *et al.* (2006) mencionan que la oferta hídrica condiciona la respuesta a la fertilización y la forma de la curva de ajuste entre el N disponible del suelo y los requerimientos de N.

Otros autores han reportado cambios en la eficiencia del uso del agua (EUA) por la fertilización nitrogenada. Rizzalli (1998) concluyó que la fertilización nitrogenada del maíz en siembra directa aumenta la EUA, principalmente en situaciones de sequía. Estrada Escalante (2001), encontró una mayor EUA en girasol, cuando este fue fertilizado con N. También la fertilización nitrogenada aumentó la EUA en cebada y trigo (Gregory *et al.*, 1984 y Cooper *et al.*, 1987) y en maíz (Ogola *et al.*, 2002; Barros *et al.*, 2007). Además, Caviglia y Sadras (2001) en trigo atribuyen el aumento de la EUA por la fertilización, al incremento en el uso de la radiación por mayor concentración de N en las plantas, con su consecuente aumento de la capacidad fotosintética.

Pergolini (2004) observó en trigo un aumento del consumo de agua por la fertilización, lo cual se tradujo en una mayor cantidad de materia seca en comparación con las parcelas no fertilizadas. Además, el aporte de nutrientes aumentó la EUA porque produjo mayor cantidad de materia seca por unidad de agua transpirada. Del mismo modo Ogola *et al.* (2002), observaron que mediante la aplicación de fertilizantes en maíz se produjo un aumento de la biomasa producida, debido al incremento de la transpiración y a la reducción del agua evaporada desde el suelo. También encontraron que mediante la aplicación de fertilizante se produce el cierre temprano del dosel, reduciendo la evaporación del agua de la superficie del suelo y aumentando la disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz.

Finalmente, Barros *et al.* (2007) en un ensayo de interseembra, aplicación de fertilizante y aplicación de correctores de pH, en Brasil, observó que una mejor nutrición reduce la percolación profunda del agua y la evaporación del suelo, aumentando la transpiración del cultivo de maíz.

Para la determinación de la EUA en un cultivo, es necesario cuantificar los componentes del balance hídrico. Dado que la estimación de la transpiración y evaporación

hídrica presenta numerosas dificultades, surge la necesidad de utilizar modelos de simulación para establecer estos componentes. Para el caso de la transpiración es conocido que el cultivo de maíz lo hace en forma constante durante todo su ciclo, pero 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).

Además, los modelos de simulación han permitido dar una visión integrada del funcionamiento de los cultivos (Passioura, 1996 a). 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 y nitrógeno, los cuales pueden estar diseñados con diferente nivel de detalle (Boote *et al.*, 1996), no existiendo modelos universales.

Teniendo en cuenta que el agua es el recurso más escaso para la producción de los cultivos y que la fertilización nitrogenada modifica la eficiencia de uso, es importante estimar los cambios en la EUA del maíz por el aporte de nitrógeno en siembra directa en los suelos del sur de Córdoba, dado que en esta región el agua es la principal limitante de la producción.

I.1. HIPÓTESIS:

La fertilización nitrogenada de maíz en siembra directa incrementa significativamente la eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar, para la producción de materia seca y de granos cosechables, en los suelos del Sur de la Provincia de Córdoba.

I.2. OBJETIVOS:

I.2.1. OBJETIVO GENERAL:

Evaluar y cuantificar los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia de uso del agua y de la radiación, en la producción de maíz en el Sur de Córdoba.

I.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Cuantificar el balance hídrico del maíz mediante la utilización de modelo de simulación de crecimiento y desarrollo.
- Estimar el efecto de la fertilización nitrogenada del maíz sobre la eficiencia en el uso del agua.
- Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada de maíz sobre la eficiencia en el uso de la radiación fotosintéticamente activa.

- Analizar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la relación transpiración-evaporación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1. AREA 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, teniendo como objetivo evaluar la dinámica de las interacciones que afectan la producción de cultivos en siembra directa (SD).

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 804 mm, para la serie 1993-2007 (Datos estación meteorológica UNRC). 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).

Este experimento se realiza 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 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 desarrollaron suelos clasificado como Hapludoles. Los suelos evolucionaron sobre materiales loésicos, franco arenosos muy finos de la Formación La Invernada (Cantú, 1992).

II.2. DESCRIPCION DEL SUELO BAJO ESTUDIO

El relieve es normal, suavemente ondulado, con pendientes de longitud largas y gradientes promedios de 1,5 %. El suelo es un Hapludol típico, de textura franca arenosa muy fina con susceptibilidad a la desagregación superficial y a la compactación (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 < 2μ (%)</i>	15	12	8	6	6
<i>Limo 2-50 μ (%)</i>	40,5	37	40	37	35
<i>Arena 50-1000 μ (%)</i>	45	51	50	55	58
<i>pH</i>	6,8	7	7,1	7,2	7,5

II.3. DESCRIPCION MORFOLOGICA DEL PERFIL DEL SUELO

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: Grano suelto.

Cuadro 2. Cantidad de materia seca total (MST) del 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>
<i>Sin Fertilizar (SF)</i>	3884,71 b	60% b
<i>Fertilizado (F)</i>	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 observan los diferentes valores de materia seca (MST) y % del suelo cubierto por rastrojos (% 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 de rastrojos, dando como resultado una mayor cobertura de la superficie del suelo.

Para determinar la MST de rastrojos, se tomaron de 4 muestras de 0,25 m² por cada parcela. Las muestras se secaron con estufa, con circulación de aire forzado a 80 °C, hasta peso constante. Para la determinación del % de cobertura se utilizó el método de la línea transecta, que consiste en medir cada 0,1 m en 10 m lineales la cantidad de intersecciones con rastrojo superficial (Eck *et al.*, 1994). Se tomarán 3 muestras en cada parcela.

Cuadro 3. Densidad aparente (PEA) en Mg m⁻³ obtenida en cada una de los bloques bajo estudio

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
	PEA	PEA	PEA	PEA
<i>Profundidad</i>	Mg/m³	Mg/m³	Mg/m³	Mg/m³
0,2	1,20	1,36	1,24	1,29
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

En el Cuadro 3 se presentan los valores de densidad aparente para las distintas profundidades y bloques experimentales. Se observa que los valores más altos de densidad se encuentran entre los 20 y 40 cm de profundidad debido probablemente a la historia de laboreo del suelo.

II.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente aleatorizados con 4 repeticiones espaciales por tratamiento (Figura 1). El tamaño de las parcelas fue de 24,5 m de ancho, por 70 m 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. Se sembraron 35 líneas por parcela a 0,70 m de distancia entre ellas, sobre un rastrojo de soja.

Previo a la siembra se realizó un control químico de malezas en todos los tratamientos, utilizando 3 lts/ha de Glifosato 48 %. A la siembra se aplicaron 2 lts/ha de Atrazina para mantener el ensayo libre de malezas.

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. En el estado ontogénico de V₆ se refertilizó con urea (N-P-K, 46-0-0) a razón de 100 kg/ha. Ambas fertilizaciones fueron aplicadas en todas las parcelas que correspondía, definiéndose así la situación “fertilizado”, (F).

El tratamiento restante fue “Sin fertilizar”, en la cual no se aplicó ningún fertilizante a la siembra ni en la refertilización posterior.

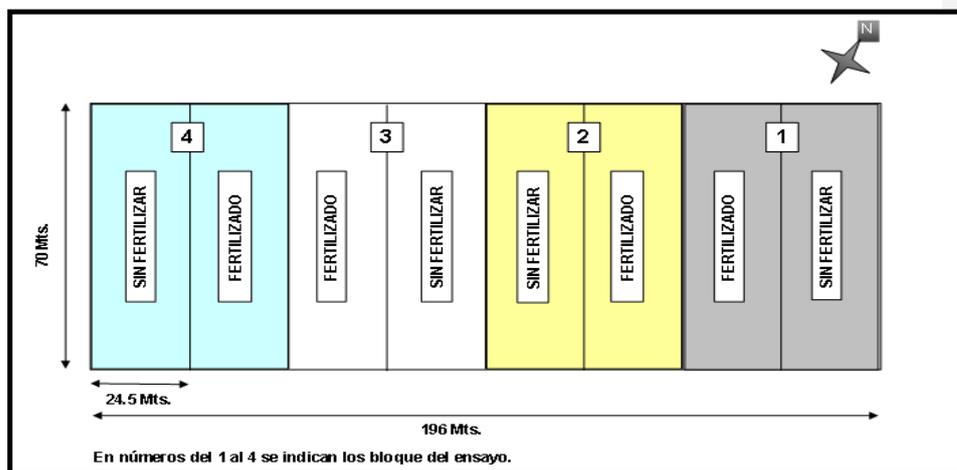


Figura 1. Plano del ensayo

II.5. DETERMINACIONES REALIZADAS

II.5.1. FENOLOGIA DEL CULTIVO:

Se determinaron los estadios fenológicos del cultivo en todas las parcelas del ensayo según Ritchie y Hanway (1997), registrándose la fecha respectiva a cada estadio. Esta determinación se realizó con una periodicidad de 16 días aproximadamente.

II.5.2. MATERIA SECA TOTAL DE LA PARTE AEREA:

Las mediciones se realizaron en los estadios V₆, V₉, V₁₃, R₁, R₃ y R₆. Se tomaron 4 muestras por parcela, de 5 plantas cada una. Las plantas que se seleccionaron, fueron aquellas que presentaron la misma altura y se hallaban en competencia perfecta. Las plantas tomadas en cada muestra, fueron secadas en estufa a 80 °C hasta peso constante.

II.5.3. RENDIMIENTOS 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 determinar humedad y peso de 1000 semillas. Además se evaluó el número de espigas/m² y se determinó número de granos por m² (NG).

II.5.4. INTERCEPCION DE LA RADIACION (IR):

Se midió en los estadios fenológicos (V₆, V₉, V₁₃, R₁ y R₃), utilizando el LI-COR LI-1400 Datalogger conjuntamente con el sensor lineal LI-191SA Quantum (LI-COR, Lincoln, NE, USA). En cada tratamiento y sus repeticiones se realizó una medición a cielo abierto (I₀) y tres debajo del dosel del cultivo en forma transversal a las líneas de siembra (I).

La intercepción de la radiación (IR%) 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 (RFAi) mediante la siguiente ecuación:

$$RFAi = IR\% * RAD$$

Donde RAD es la radiación fotosintéticamente activa incidente, la cual fue obtenida afectando a la radiación global (RG) por 0,48 (Echarte *et al.*, 2006). La RG fue obtenida de la estación meteorológica automática que se encuentra a 1000 m del sitio experimental.

$$RAD = 0,48 * RG$$

II.5.5. EFICIENCIA EN EL USO DE LA RADIACIÓN:

Se determinó la eficiencia en uso de la radiación (EUR) para la producción de materia seca en el periodo crítico del cultivo y materia seca por estadio fenológico. Las EUR se determinaron a partir de las siguientes fórmulas:

$$EUR_{MS} = \frac{\Delta Biomasa}{Pr omRAFi} \quad (\text{g MJ}^{-1})$$

Donde,

EUR_{MS} es la eficiencia en el uso de la radiación para la producción de materia seca en cada subperíodo del ciclo del cultivo.

ΔBiomasa es la acumulación de biomasa para cada subperíodo analizado (g m⁻²).

PromRAFi, es la radiación fotosintéticamente activa interceptada promedio para cada subperíodo analizado (MJ m⁻²).

La EUR fue estimada entre los siguientes subperíodos: E-V, V6-V8, V9-V13, V13-R1 y R1-R3.

La EUR para la producción de materia seca durante el periodo crítico del cultivo (EUR_{PC}) se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$EUR_{PC} = \frac{Biomasa}{RAFi} \quad (\text{g MJ}^{-1})$$

Donde,

Biomasa, es la biomasa total acumulada (g m⁻²).

RAFi=Σ Prom. RAFi durante el periodo crítico del cultivo (MJ m⁻²).

II.5.6. HUMEDAD GRAVIMÉTRICA:

Se determinó a la siembra y en V₆, V₁₃, R₃ y R₆, en las siguientes capas del suelo: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60cm, 60-80 cm, 80-100 cm de profundidad. Las muestras se conformaron de 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.

$$HG = \frac{(PH - PS)}{PS} \times 100$$

Donde,

PH, es el peso del suelo húmedo (g)

PS, es el peso del suelo seco (g)

HG, es la humedad gravimétrica (%)

II.5.7. 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:

$$\text{Lámina (mm)} = HG * PEA * E$$

Donde:

HG: humedad gravimétrica.

PEA: peso específico aparente (g cm^{-3})

E: espesor del horizonte (cm).

II.5.8. 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 (Inc) de la misma en cada tratamiento según March *et al.* (1997). Posteriormente, estos valores fueron llevados a severidad según Lenardon *et al.* (2007).

$$\text{Severidad} = 0,000135 * \text{Inc}^2 + 0,009423 * \text{Inc} + 0,032047$$

II.5.9. 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 las siguientes ecuaciones:

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

Donde,

T es la transpiración (mm).

Rto es el rendimiento en granos por hectárea (Kg ha^{-1}).

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:

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

Donde,

ET es evapotranspiración real (mm).

Rto, es rendimiento en granos (Kg ha^{-1}).

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

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

II.6. 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 que requiere datos de temperatura máxima y mínima del aire y precipitación. Además, es necesario brindarle 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 emplea varios métodos. En este trabajo considerando los datos meteorológicos disponibles se utilizó el método de Priestley-Taylor (Priestley and Taylor, 1972) por no contar con información de velocidad del viento. El método de Priestley-Taylor estima ETP con la siguiente fórmula:

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

Donde ETP es en $\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, 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. R_n es la radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), G es la densidad de flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), γ es la constante sicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), S es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) y λ calor latente de vaporización (MJ kg^{-1}).

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 disminuyen el ingreso del agua de lluvia al suelo mientras que la percolación profunda ocurre por debajo de la profundidad de enraizamiento como resultado de un gradiente en el 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 Ψ 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 (E) 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:

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

Donde:

E: Escurrimiento (mm)

Pt: Precipitación en 24 horas (mm)

P₀: Umbral de escorrentía (mm)

E = 0 si Pt ≤ P₀; E ≠ 0 si Pt > P₀

II.7. 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.

Finalmente para verificar la validación del modelo se procedió a calcular el Índice de coincidencia, D, mediante la ecuación (1) y la raíz cuadrada del cuadrado medio del error, RMSE con la ecuación (2) y el error relativo, que es la relación porcentual del RMSE sobre

el promedio de valores observados de MS y lámina de agua del bloque 4, según Wilmott, (1982).

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \right] \quad 0 \leq D \leq 1 \quad (1)$$

Donde:

D = Índice de coincidencia

N = Número de casos

P_i = Datos simulados

O_i = Datos observados

$$RMSE = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

Donde:

$RMSE$ = Raíz cuadrada media del error

N = Número de casos

P_i = Datos simulados

O_i = Datos observados

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con formato

III.1. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y RADIACIÓN SOLAR DURANTE LA CAMPAÑA 2006-2007

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.

III.1.1. TEMPERATURAS

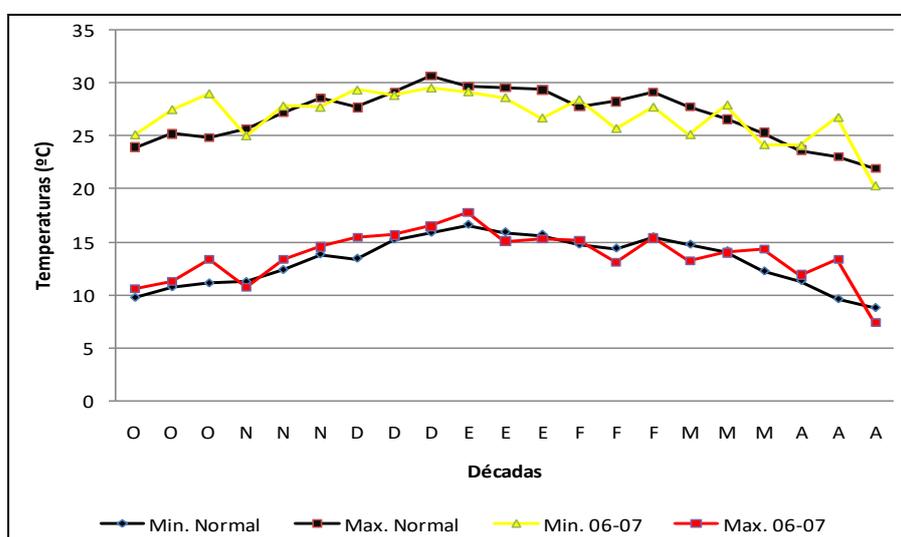


Figura. 2. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas medias decádicas de la campaña 2006-2007 y normales (serie 1993-2007) en La Aguada (Cba).

En la Figura 2, se presenta la evolución de las temperatura máximas y mínimas decádicas registradas desde el mes de octubre de 2006 hasta abril del 2007.

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

III.1.2. PRECIPITACIONES

Con formato

En la Figura 3, se presentan las precipitaciones de la campaña 2006-07 y los valores normales (promedio 1993-2007) en el establecimiento Pozo del Carril, ubicado en el paraje La Aguada.

Cuando se analiza el ciclo del cultivo se observa que en la campaña bajo estudio, las precipitaciones superaron a los valores normales 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) ocurrieron abundantes precipitaciones, con la ocurrencia de granizo intenso (23/02/2007), lo que ocasionó una importante reducción del área foliar del cultivo, como se presentará más adelante.

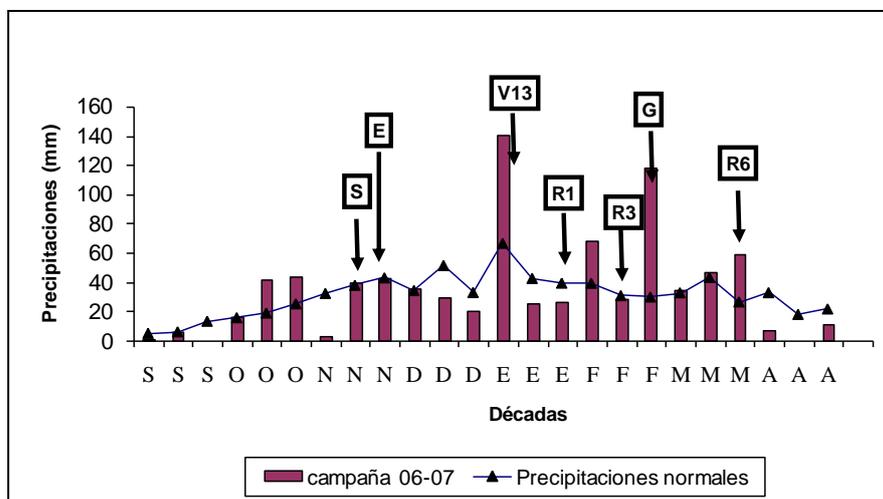


Figura 3. Precipitaciones normales decádicas y de la campaña 2006-2007(mm), para La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.

S: Siembra, E: Emergencia, V₁₃: Estado de 13 hojas, R₁: Aparición de estigmas, R₃: Grano lechoso, G: Caída de granizo, R₆: Madurez fisiológica.

III.1.3. 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 durante el desarrollo del cultivo.

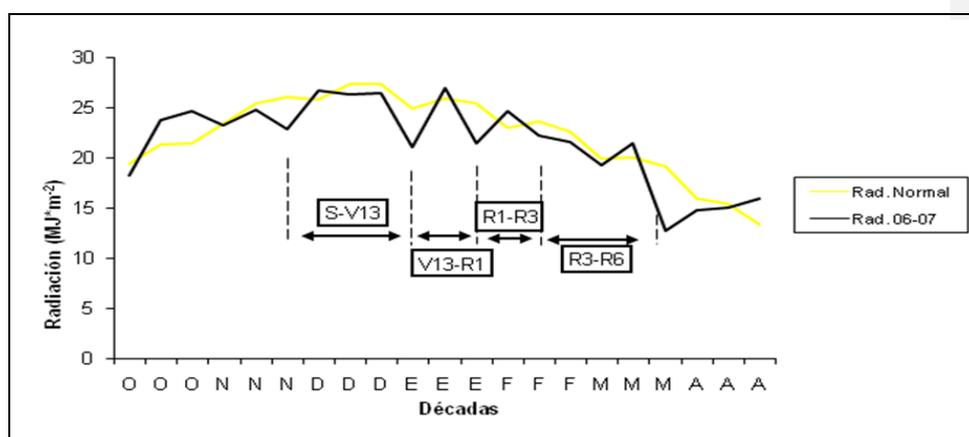


Figura 4. Radiación solar global normal decádica y para la campaña 2006-2007(MJ m⁻²), para La Aguada, Río Cuarto, Córdoba.

III.2. 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.

	<i>Incidencia (% Plantas afectadas)</i>
<i>Sin Fertilizar</i>	37,97 % b
<i>Fertilizado</i>	7,58 % a
<i>DMS</i>	6,75 %
<i>% CV</i>	37,91

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. La mayor disponibilidad nutricional explicaría el mejor comportamiento del cultivo frente a la enfermedad como fue señalado oportunamente por Ventimiglia y Trorrens (2008). Estos

autores encontraron que la fertilización nitrogenada redujo la incidencia de la enfermedad del 25% al 4,5%, valores similares a los presentados en el Cuadro 4.

III.3. FENOLOGÍA DEL CULTIVO

No se detectaron diferencias en la fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos entre los tratamientos con y sin fertilización.

Como puede observarse en el Cuadro 5, el cultivo cumplió su ciclo en 125 días. Las diferentes etapas de desarrollo se manifestaron acordes a las condiciones ambientales que se presentaron durante el período comprendido entre el 17/11/2006 y el 23/02/2007. La ocurrencia de granizo (23/02/2007) afectó el crecimiento del subperíodo R₃-R₆, viéndose modificada el área foliar, lo cual perjudicó principalmente el normal llenado de los granos.

Cuadro 5. Fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos de maíz Nidera AX 882 IT

Estado Fenológico	Fecha	Días entre periodo	Días acumulados
Siembra	17/11/06	0	0
V_E	24/11/06	7	7
V₆	6/12/06	12	19
V₉	21/12/06	15	34
V₁₃	6/01/07	16	50
R₁	25/01/07	19	69
R₃	12/02/07	18	87
Granizada	23/02/07		
R₆	22/03/07	38	125

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

En el Cuadro 6 se presentan 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 precipitación de 658 mm entre emergencia y madurez fisiológica. Sin embargo, los rendimientos obtenidos en la campaña no fueron los esperados de acuerdo a la cantidad de precipitaciones registradas. La ocurrencia de granizo puede ser considerada sin duda como una de las causas de una importante reducción del rendimiento potencial.

Cuadro 6. Sumas térmicas medias ($^{\circ}\text{C}$) y precipitaciones acumuladas (mm) entre estadios fenológicos a lo largo del ciclo del cultivo, para todos los tratamientos y parcelas, durante la campaña 2006-2007 en La Aguada, Dpto Río Cuarto, Pcia. de Córdoba.

<i>Estadio 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>V_E</i>	90,19	90,19	48	48
<i>V₆</i>	140,97	231,16	71	119
<i>V₉</i>	209,13	440,29	30	149
<i>V₁₃</i>	238,92	678,74	56	205
<i>R₁</i>	260,45	939,19	136	341
<i>R₃</i>	229,81	1169,0	88	429
<i>R₆</i>	220,9	1389,97	229	658

Escala según Ritchie and Hanway (1997). V: estadios vegetativos y R: estadios reproductivos. Suma térmica calculada mediante el método residual.

En relación a la suma térmica (Cuadro 6) calculada tomando como temperatura base de crecimiento de 8°C , se aprecia que los valores indicados en el catálogo (Nidera, 2002), para el estadio fenológico: emergencia – floración, coincide con el registrado en este ensayo. Cabe aclarar que debido al granizo, no fue posible determinar con precisión el momento de culminación del ciclo. Como consecuencia se tomó el día 22/03/2007 como R_6 para todas las parcelas y tratamientos.

III.4. BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE MAÍZ

III.4.1. CALIBRACIÓN DEL MODELO SOIL WATER BALANCE (SWB)

Como se mencionó 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 con los valores reales obtenidos en el ensayo, se llevó a cabo la calibración del mismo. Para ello se realizó un ajuste de los parámetros del modelo para las dos situaciones: “Sin fertilización nitrogenada” y “con fertilización nitrogenada”, ambos tratamientos correspondientes al bloque 4 (Cuadro 7).

Todos los parámetros fenológicos y de crecimiento fueron ajustados hasta que los valores simulados y observados mostraran máxima concordancia, la cual fue evaluada con

los coeficientes de regresión lineal para la simulación de la lámina total de agua y para la biomasa del cultivo.

Cuadro 7. Valores asignados a los parámetros del modelo de simulación SWB durante la calibración realizada utilizando los datos del bloque 4, para producción de materia seca y lámina de agua.

	Fertilizado	No fertilizado
Grado día para emergencia (°C/d)	90	90
Grado día para la floración (°C/d)	970	970
Grados día para madurez (°C/d)	1675	1675
Temperatura base (°C)	8	8
Temperatura máxima tasa de crecimiento (°C)	30	30
Temperatura máxima del tiempo térmico (°C)	40	40
Máxima profundidad de enraizamiento (m)	1,5	1,4
EUA normalizada por déficit presión de vapor ($\text{g m}^{-2}\text{mm trans}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$)	7	7
Potencial agua de la hoja a transpiración máxima (J/kg)	-1000	-1000
Potencial agua de la hoja a marchitez (J/kg)	-1500	-1500
Coefficiente de extinción de la radiación	0,45	0,45
Eficiencia en la conversión de la radiación (g/MJ)	4,5	2,9
Fracción de materia seca del canopeo translocada a grano	0,01	0,01
Temp. para el crecimiento óptimo limitado por radiación (°C)	29	29
Máximo posible de transpiración (mm/día)	14	10
Duración de las hojas (°C)	1200	1100

En la Figura 5 se observa, para cada estadio fenológico (V_6 , V_9 , V_{13} , R_1 y R_3), los valores simulados y observados (tratamiento fertilizado del bloque 4) de producción de materia seca total ($T_n \text{ ha}^{-1}$). Luego se procedió a simular el crecimiento y desarrollo del maíz en los tratamientos fertilizados de los restantes bloques, manteniendo constantes los parámetros del cultivo (Cuadro 7) y variando las condiciones de suelo (PEA y % cobertura) (Cuadros 2 y 3).

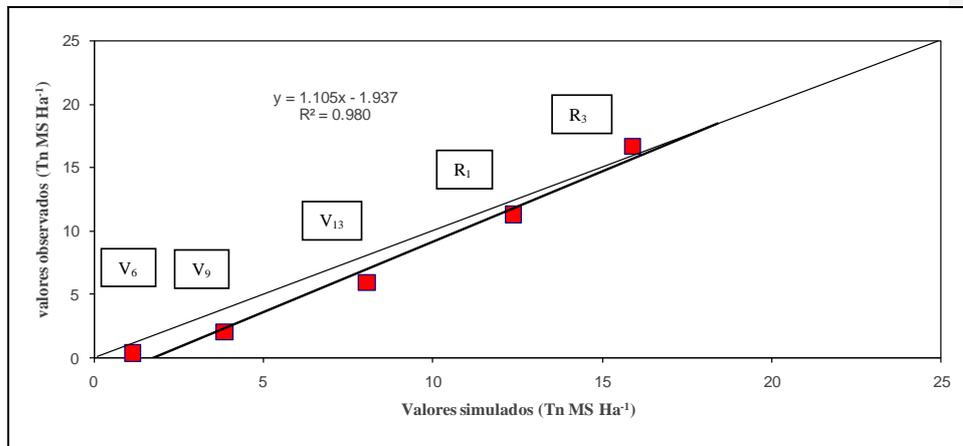


Figura 5. Valores simulados y observados de producción de materia seca total (Tn MS ha⁻¹) para el tratamiento con fertilización nitrogenada.

En la Figura 6 se observa la evolución de los valores simulados y observados (tratamiento fertilizado del bloque 4) de la lámina de agua hasta la profundidad de un metro a lo largo del ciclo del cultivo.

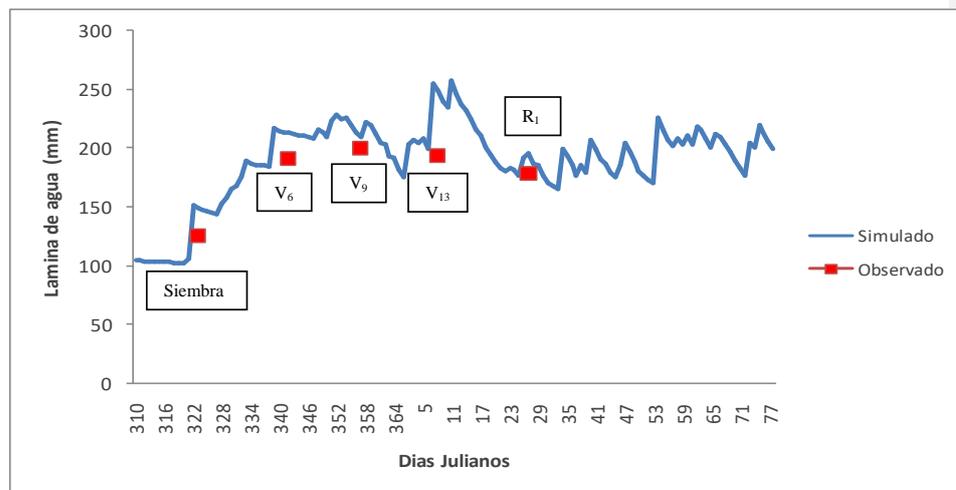


Figura 6. Valores simulados y observados (tratamiento fertilizado del bloque 4) del contenido hídrico (mm) hasta el metro de profundidad del perfil.

Luego se procedió a simular el contenido hídrico durante el ciclo del cultivo en los tratamientos fertilizados de los restantes bloques, manteniendo constantes los parámetros de cultivo y variables las condiciones de suelo medidas en cada situación.

En la Figura 7 se observa, para cada estadio fenológico (V₆, V₉, V₁₃, R₁ y R₃), los valores simulados y observados (tratamiento sin fertilización del bloque 4) de producción de

materia seca ha^{-1} . Luego se procedió a simular el crecimiento y desarrollo del maíz en los tratamientos sin fertilización de los restantes bloques, manteniendo constantes los parámetros de cultivo y variando las condiciones de suelo medidas en cada situación.

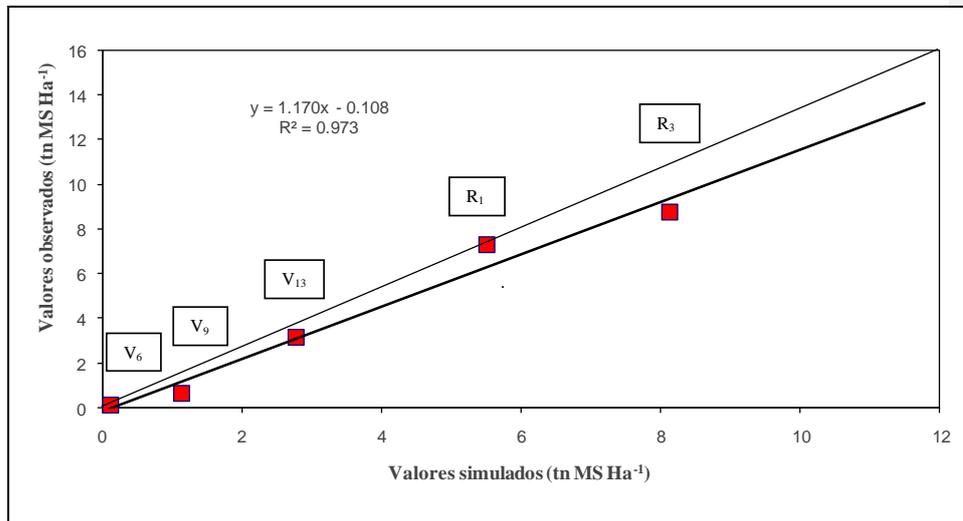


Figura 7. Valores simulados y observados de producción de materia seca total (Tn MS ha^{-1}) en el tratamiento sin fertilización nitrogenada.

En la Figura 8 se observa la evolución de los valores simulados y observados (tratamiento sin fertilización del bloque 4) de la lámina de agua hasta la profundidad de un metro a lo largo del ciclo del cultivo. Luego se procedió a simular el contenido hídrico durante el ciclo del cultivo en los tratamientos que no recibieron fertilización de los restantes bloques, manteniendo constantes los parámetros de cultivo y variables las condiciones de suelo medidas en cada situación.

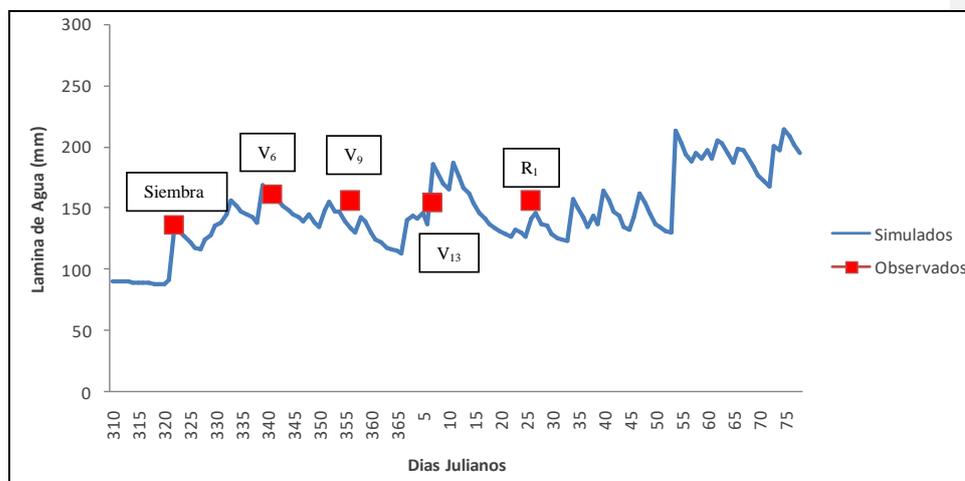


Figura 8. Valores simulados y observados (tratamiento sin fertilizar del bloque 4) del contenido hídrico (mm) hasta el metro de profundidad del perfil.

Como se puede apreciar en las Figura 5 y 7, el ajuste logrado en la etapa de calibración fue superior al 95 % entre valores observados y simulados para producción de biomasa.

III.4.2. VALIDACIÓN DEL SWB

Con los datos de los restantes tres bloques se procedió a validar el modelo para el cálculo del balance hídrico y la producción de MS. En el Cuadro 8 se presentan los indicadores del ajuste del modelo para materia seca y lámina de agua obtenidos en la validación del modelo: el Índice de coincidencia D, la raíz cuadrada del cuadrado medio del error y el error relativo (relación porcentual entre el RCEM y el promedio de valores observados de MS y lámina de agua).

Cuadro 8. Índices de ajuste para materia seca total (MS) en R_6 ($Kg MS ha^{-1}$) y lámina de agua (mm) obtenidos durante la validación del modelo de simulación SWB.

	<i>MS</i>	<i>Lámina de Agua</i>
<i>D</i>	0,969	0,763
<i>RCEM</i>	2,097	30,62
<i>Error Relativo (%)</i>	36,5	20,13

Donde: *D*: Índice de coincidencia, *RCEM*: Raíz cuadrada del cuadrado medio del error y *Error relativo*: Relación porcentual entre el RCEM y el promedio de los valores observados de MS y lámina de agua.

Como se puede observar en el Cuadro 8 el grado de ajuste logrado fue superior al 75 % de coincidencia entre valores observados y simulados por el SWB, por lo cual se

consideró como válido al modelo calibrado previamente, para el cálculo del balance hídrico del cultivo en cada tratamiento y repetición.

El modelo 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) y cobertura de rastrojo (ver Cuadro 2 y 3, en Materiales y Métodos), obtenidos en cada parcela.

III.4.3. EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN

En la Figura 9 se observa la transpiración y la evaporación diaria de los tratamientos evaluados. En las parcelas fertilizadas se observó una mayor transpiración que en las que no recibieron aporte de nitrógeno, durante todo el ciclo del cultivo. Contrariamente, la evaporación directa del suelo estimada por el SWB fue superior en las parcelas sin fertilizante durante casi todo el ciclo del cultivo. Es muy probable que la menor cobertura inicial con rastrojos explique las diferencias de evaporación mencionadas.

Como se puede observar en la Figura 9, 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).

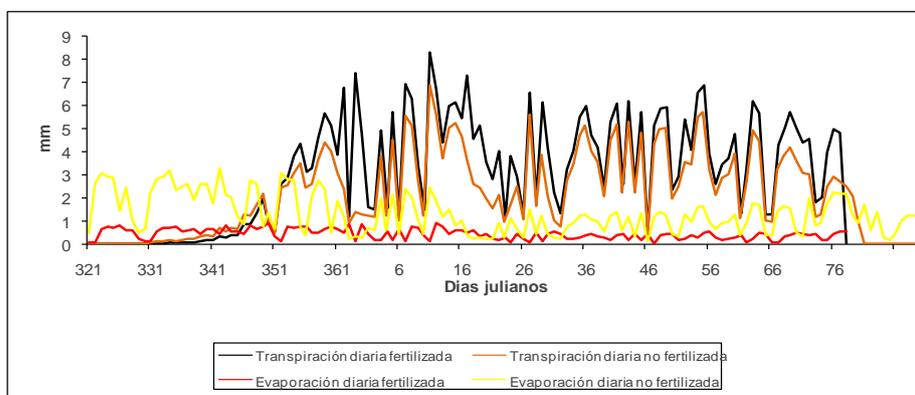


Figura 9. Valores simulados de transpiración y evaporación diaria (mm dia^{-1}) correspondientes a los tratamientos con y sin fertilización nitrogenada.

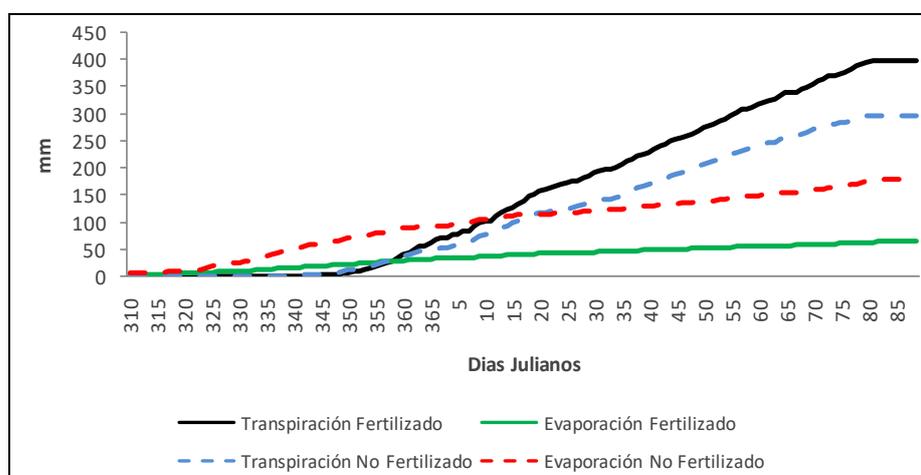


Figura 10. Valores simulados de transpiración y evaporación acumulada de los tratamientos fertilizados (línea continua) y no fertilizada (línea de puntos).

La Figura 10 muestra la evolución de la transpiración y evaporación acumulada a lo largo del ciclo del cultivo. La mayor producción de materia seca en las parcelas fertilizadas, como se verá más adelante, generó una rápida cobertura del entresurco, lo que pudo ocasionar una disminución de la temperatura en la superficie del suelo, reduciéndose así el potencial evaporativo (Dardanelli *et al.*, 2003).

II.4.4. BALANCE HÍDRICO

Cuadro 9. Valores de transpiración (mm), evaporación (mm) y escurrimiento (mm) acumulados obtenidos del modelo de simulación para cada tratamiento y sus correspondientes repeticiones (bloques).

	Bloques	Transp. (mm)	Evapor. (mm)	Ecurr. (mm)
Con Fertilización	1	396,7	65,5	120,8
	2	397,3	65,0	125,3
	3	388,8	64,5	123,8
	4	397,3	65,0	123,8
Sin Fertilización	1	297,2	179,3	100,3
	2	295,7	179,9	112,6
	3	296,6	180,2	108,7
	4	297,9	182,7	109,3

Cuadro 10. Valores simulados de transpiración (mm), evaporación (mm) y escurrimiento (mm) acumulados, para las parcelas con y sin fertilización.

	<i>Transpiración</i>	<i>Evaporación</i>	<i>Escurrecimiento</i>
<i>Sin Fertilización</i>	296,9 b	180,58 a	107,74 a
<i>Con Fertilización</i>	395,05 a	65,04 b	123,45 b
<i>DMS</i>	5,23	1,88	6,78
<i>CV (%)</i>	0,9	0,9	3,3

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 Cuadro 10, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, siendo las parcelas fertilizadas en donde se obtuvieron los mayores valores de transpiración y los menores de evaporación y escurrimiento. Esto se explicaría 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, reduciendo la evaporación y aumentando el agua disponible para transpirar.

Los valores encontrados explican una diferencia en la transpiración del 33,05 % a favor de las parcelas fertilizadas y una disminución en la evaporación del 63,9%.

III.4.5. PARTICIÓN ENTRE EVAPORACIÓN DESDE EL SUELO Y TRANSPIRACIÓN

Con respecto a la partición de la ET, la transpiración promedio del tratamiento con fertilización representó un 85,86 % de la evapotranspiración real total, mientras que la evaporación constituyó un 14,13 %, no coincidiendo con Persaud y Khosla (1999) quienes determinaron que la evaporación representa el 33 % de la evapotranspiración real del cultivo. Por el contrario, en el tratamiento sin fertilización la transpiración representó solo un 62,1 % del total evapotranspirado.

Las diferencias encontradas en la partición de la ET se explicarían principalmente en el nivel de rastrojos aportados al suelo por los cultivos anteriores, durante los 12 años de experimentación previa. 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 (Dardanelli *et al.* 2003), lo que devino en una mayor cantidad de agua disponible, que resultó en un aumento de la transpiración y consecuentemente en un incremento en la producción de biomasa. Jalota y Prihar (1998) indican que cuanto mayor es la cantidad de rastrojos presente en la superficie del suelo, menor será la pérdida de agua a través de éste.

III. 4. 6. PRODUCCIÓN DE BIOMASA

En el Cuadro 11, se presenta la acumulación de materia seca total, en cada estadio fenológico. Se puede apreciar que los mayores valores de acumulación de MS se encontraron en los tratamientos fertilizados, en todos los estadios fenológicos evaluados, siendo estas diferencia estadísticamente significativas al 5% de probabilidad. Los valores observados de MS en R₆ en todos los tratamientos resultaron inferiores a los observados en R₃, debido a la pérdida de MS ocasionada por el granizo.

Cuadro 11. Valores observados de biomasa acumulada (kg MS ha⁻¹) por estadio fenológico para maíz (Nidera AX 882 IT), según tratamiento, durante la campaña 2006-2007 en La Aguada, Dpto. Río Cuarto, Pcia. de Córdoba.

	V ₆	V ₉	V ₁₃	R ₁	R ₃	R ₆
Sin Fertilizar	109 b	696 b	2793 b	6645 b	9515 b	9315 b
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

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.

III.4.7. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)

En el Cuadro 12, se presentan las eficiencias en el uso del agua transpirada (EUA_T MS) y evapotranspirada (EUA_{ET} MS) para la producción de biomasa total en ambos tratamientos. Como se puede apreciar en el cuadro, las diferencias encontradas fueron estadísticamente significativas para ambas eficiencias. La fertilización incremento la EUA_T y la EUA_{ET} en 42,9% y 93,2 %, respectivamente.

Cuadro 12. Eficiencias en el uso del agua transpirada (EUA_T MS) y evapotranspirada (EUA_{ET} MS) para la producción de materia seca total, obtenidas a partir de los valores simulados de transpiración (mm) y evapotranspiración (mm).

	EUA_T MS Kg. Ms mm⁻¹	EUA_{ET} MS Kg. Ms mm⁻¹
Sin Fertilización	31,37 b	19,69 b
Con Fertilización	44,84 a	38,05 a
DMS	3,82	3,01
C.V. (%)	13,89	14,48

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 13, se puede apreciar la eficiencia en el uso del agua transpirada (EUA_T) y evapotranspirada (EUA_{ET}) para la producción de grano. Las diferencias encontradas fueron estadísticamente significativas para las dos eficiencias.

Cuadro 13. Eficiencia en el uso del agua transpirada (EUA_T Grano) y evapotranspirada (EUA_{ET} Grano) para la producción de granos, calculadas a partir de los valores transpiración y evapotranspiración obtenidas de simulación y producción de granos observada en cada tratamiento.

	EUA_T Grano	EUA_{ET} Grano
	Kg. Grano mm^{-1}	Kg. Grano mm^{-1}
Sin Fertilización	7,25 b	4,48 b
Con Fertilización	14,85 a	13,15 a
DMS	1,79	1,51
C.V. (%)	9,38	9,95

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.

La EUA_T MS (44,84 Kg MS mm^{-1}), para el tratamiento fertilizado, resultó ser levemente inferior con lo indicado por Maturano (2002) y superiores a los indicados por Della Maggiora *et al.* (2000), que ascienden a 43,9 Kg MS mm^{-1} y 46 Kg MS ha^{-1} , respectivamente.

Con respecto a la EUA_T Grano, se encontraron valores levemente inferiores (14,85 Kg. grano mm^{-1}) a lo señalado por Maturano (2002) (17,6 Kg grano mm^{-1} transpirado), posiblemente debido a la pérdida del peso de mil granos producida por la caída de granizo.

Es importante destacar la magnitud de las diferencias en la EUA encontradas en estos resultados. Para la producción de Granos, la EUA_T y EUA_{ET} de las parcelas fertilizadas fueron un 104,8 % y 193 % superiores a las no fertilizadas, respectivamente.

Lo antes expuesto permite interpretar que la mayor producción de materia seca y de grano del cultivo con fertilización se debería, al incremento de la proporción de transpiración dentro de la evapotranspiración (Maturano, 2002).

III.4.8. RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA INTERCEPTADA POR LA CUBIERTA VEGETAL (RFAi)

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

En el Cuadro 14 se puede apreciar la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) para distintos subperiodos a lo largo del ciclo del cultivo. La fertilización incrementó la RFAi durante todas las etapas de crecimiento del cultivo, como consecuencia de una mayor disponibilidad nutricional, que favoreció el crecimiento foliar del cultivo. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Andrade *et al.* (2000), los cuales señalaron que ante limitaciones de nitrógeno el alargamiento celular del tejido foliar resulta seriamente restringido.

Cuadro 14. Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAi) ($Mj m^{-2}$) para diferentes subperiodos a lo largo del ciclo del cultivo.

	<i>E-V6</i>	<i>V6-V8</i>	<i>V8-V13</i>	<i>VI3-RI</i>	<i>RI-R3</i>
Sin Fertilización	3,87 b	49,12 b	108,52 b	172,16 b	142,90 b
Con Fertilización	5,62 a	60,52 a	129,90 a	200,20 a	171,59 a
DMS	1,21	10,27	9,12	7,36	5,93
CV (%)	22,1	22,13	9,07	4,67	4,45

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 fue mencionado en la descripción de la eficiencia en el uso del agua es fácil comprender que la mayor intercepción de la radiación solar favoreció la partición del la evapotranspiración a transpiración incrementándose así la $EUAT$.

La deficiencia de nitrógeno entre V_{10} y R1, en los tratamientos sin fertilizar, provocó una disminución en la producción de materia seca (Cuadro 11). La menor producción de MS trae aparejado descensos en la RFAi (Cuadro 14). Por lo tanto aquellas parcelas que no fueron fertilizadas tendrán menor capacidad para interceptar la RFA.

El Cuadro 15 muestra la EUR en distintos subperiodos a lo largo del ciclo del cultivo. Se aprecia que aquellas parcelas que recibieron fertilización mostraron diferencias estadísticamente significativas con aquellas no fertilizadas, en todos los subperiodos evaluados.

Cuadro 15. Eficiencia en el uso de la radiación ($g MS MJ m^{-2}$) en diferentes subperíodos a lo largo del ciclo del cultivo.

	<i>E-V6</i>	<i>V6-V8</i>	<i>V9-V13</i>	<i>V13-R1</i>	<i>R1-R3</i>
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
DMS	0,66	0,40	0,65	0,35	0,91
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.

En el Cuadro 16, se observa la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), durante el período crítico del cultivo.

Cuadro 16. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) ($gMS MJ m^{-2}$) durante el periodo crítico ($V_{13}-R_3$) del cultivo de maíz (Nidera AX 882 IT)

	$V_{13}-R_3$
Sin Fertilización	2,07 b
Con Fertilización	3,05 a
DMS	0,35
C.V (%)	15,95

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.

La EUR encontrada en este trabajo resulta inferior a otros hallados en la bibliografía para casos de tratamientos con fertilización (e.g. 4,40 $g MJ^{-1}$, Plénet, 1995).

III.4.9. RENDIMIENTO

El análisis estadístico para rendimiento en grano y sus componentes se presentan en el Cuadro 17. El tratamiento con fertilización, con una media de 5870 $kg ha^{-1}$ presenta una diferencia significativa con respecto al tratamiento que no fue fertilizado, el que muestra una media de 2153 $kg ha^{-1}$.

Estas diferencias en rendimientos permiten establecer que en los tratamientos F los rendimientos fueron un 63,34% superior al de los tratamientos SF, resultados que puede ser

explicado por los cambios encontrados en la RFAi, la EUR y EUA a favor de las parcelas fertilizadas.

Cuadro 17. Rendimiento ($kg G ha^{-1}$), número de granos por metro cuadrado ($N^{\circ} G m^{-2}$) y peso de 1000 granos ($P1000, g$) para maíz (*Nidera AX 882 IT*) fertilizado y sin fertilizar, durante la campaña 2006-2007 en La Aguada, Dpto. Río Cuarto, Pcia. de Córdoba.

	$Kg ha^{-1}$	$N^{\circ} de granos m^{-2}$	$P1000 (g)$
Sin Fertilizar	2153 b	1020 b	204 a
Fertilizado	5870 a	2677 a	217 a
DMS	408,94	195,89	21,69
CV %	9,51	9,88	9,61

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.

Como fue planteado por Passioura (1996 b), el rendimiento en granos está estrechamente asociado con la transpiración, fijación del dióxido de carbono, la captura del recurso agua, su uso eficiente (EUA) y la conversión de fotoasimilados a órganos de cosecha.

El rendimiento de maíz está estrechamente relacionado con el número de granos logrados por unidad de superficie, el cual queda definido durante el periodo comprendido entre V13-R3 (Andrade *et al.*, 1996). En este sentido se puede apreciar en la Figura 12, que por cada grano mas logrado por m^2 el rendimiento aumenta en $2,22 kg ha^{-1}$.

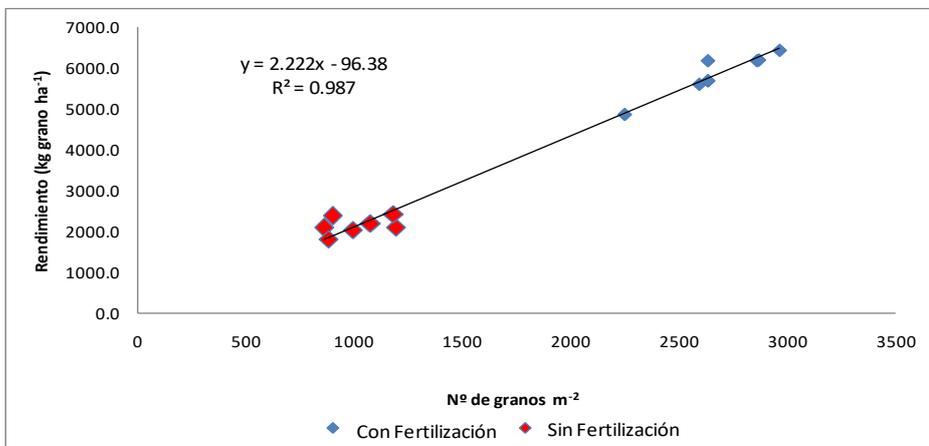


Figura 11. Rendimiento (kg Grano ha⁻¹) observados en función del número total de granos por m², para los tratamientos con y sin fertilización.

Con respecto al peso de mil granos (P1000), Andrade *et al.* (1996) y Uhart y Andrade (1995) señalan que no se producen diferencias en los pesos de 1000 por diferencias en el nivel de nitrógeno, lo cual coincide con los resultados hallados en este trabajo.

III.4.9.1. RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

Coincidiendo con lo planteado por Howell y Tolk (1998), este ensayo permitió establecer una relación entre la producción total de biomasa en R₆ y el rendimiento del cultivo (Figura 12). 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%.

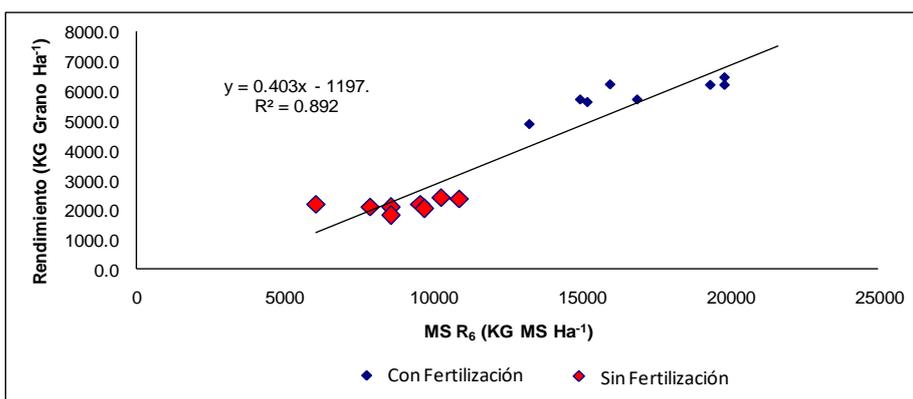


Figura 12. Rendimientos (kg MS ha⁻¹) observados en función de la producción total de biomasa (kg MS ha⁻¹) acumulada durante todo el ciclo del cultivo, para los tratamientos con y sin fertilización.

III.4.9.2. TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) depende directamente de la radiación interceptada y a su vez la radiación interceptada varía en proporción directa con el %IR (Sinclair y Horie, 1989).

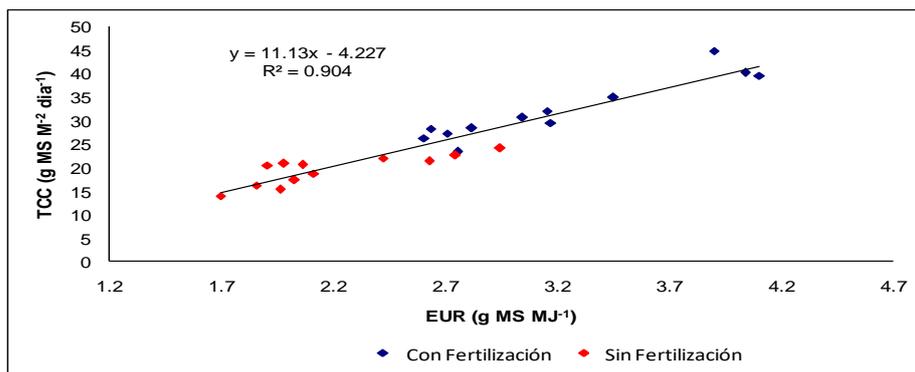


Figura 13. Relación entre la Tasa de crecimiento del cultivo ($g MS dia^{-1}m^{-2}$) y la eficiencia en el uso de la radiación ($gMS MJ m^{-2}$) entre V_{13} - R_3 , para los tratamientos con y sin fertilización. Los datos se obtuvieron de 3 muestras de RFAi por bloque.

La fertilización nitrogenada incrementa la tasa de crecimiento durante todos los estadios fenológicos evaluados como consecuencia de una mayor radiación interceptada y una mayor eficiencia en su utilización (Figura 13 y 14), 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.

Cuadro 18. Tasa de crecimiento ($gMS dia^{-1}$) del cultivo de maíz durante distintos subperiodos a lo largo del ciclo del cultivo en La Aguada, Dpto. Río Cuarto, Pcia.de 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	0,24	0,94	3,92	4,99	6,87
CV (%)	24,03	21,51	32,79	29,75	36,01

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 habría producido una merma en el número de nuevas hojas, una menor área foliar por hoja, por lo que la TCC del cultivo fue menor a la de las parcelas fertilizadas en todos los subperiodos evaluados (Cuadro 18). Estos resultados coinciden 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 el resultado de la mayor radiación interceptada (Uhart y Andrade, 1995) debido a la mayor expansión foliar producida por la fertilización (Gardner *et al.* 1985).

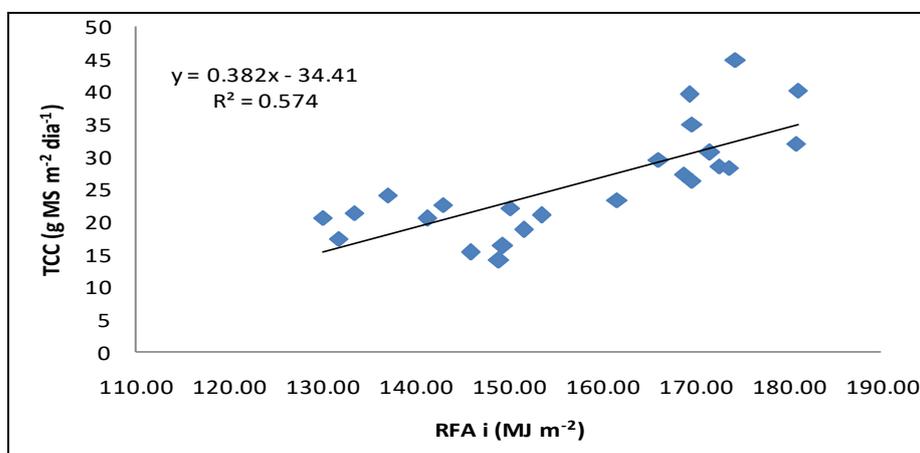


Figura 14. Relación entre la tasa de crecimiento del cultivo ($g MS día^{-1}$) y la Radiación fotosintéticamente activa interceptada ($MJ m^{-2}$).

La diferencia de rendimiento mencionada anteriormente, (Cuadro 17, Figura 11) también se explica por el incremento en la TCC ocasionado por la fertilización nitrogenada (Cuadro 18), donde el aumento de la TCC entre $V_{13} - R_3$ produjo una mayor fijación del número de granos m^{-2} (Figura 15). La relación que se encontró es que por cada grano logrado por m^2 el rendimiento se incrementa en $2,2 kg ha^{-1}$.

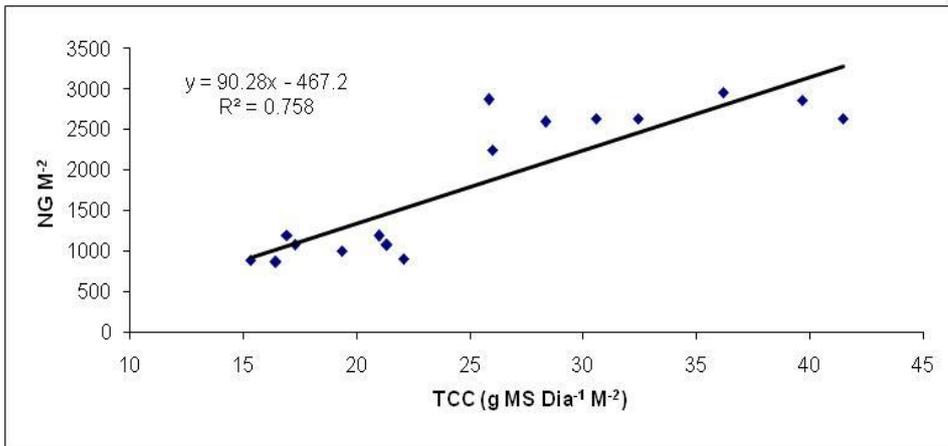


Figura 15. Relación entre el número de granos por metro cuadrado y la tasa de crecimiento del cultivo entre V_{13} y R_3 .

Segun Nielsen (1997) una mayor TCC, provocada por la mayor expansión foliar, implicó fijar un mayor número de granos por m^2 y ello se tradujo en un mayor rendimiento, tal como se plantea en la Figura 15, donde por cada aumento de $1 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la TCC entre V_{13} y R_3 , se obtienen $90,2$ granos m^2 más.

El NG m^{-2} está estrechamente relacionado a la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) entre V_{13} y R_3 y esta relación determina que aumentos en la RFAi signifiquen incrementos en la TCC. En la Figura 16 puede apreciarse que por cada MJ m^{-2} interceptado se logró incrementar $13,98$ granos el NG m^{-2} .

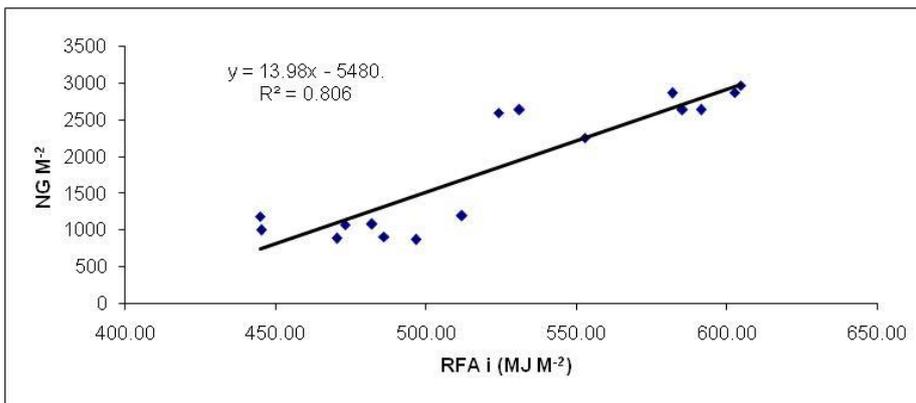


Figura 16. Relación entre el número de granos por metro cuadrado y la Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada entre V_{13} y R_3 .

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

Los resultados obtenidos en el presente trabajo han permitido corroborar que en las parcelas del ensayo que recibieron el tratamiento de fertilización desde hace 12 años, el balance hídrico del suelo ha mejorado si lo confrontamos con las parcelas que no fueron fertilizadas. Aunque no fue evaluada en esta oportunidad, la mejora en la infiltración del suelo y la reducción del escurrimiento superficial que generaría la mayor cantidad de materia seca sobre la superficie del suelo, son indicadores de que la fertilización ocasionó una mejora en la condición estructural del suelo. 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 33,05 % más de agua comparado con las parcelas no fertilizadas. Además, la eficiencia de uso de la misma para la producción de materia seca en las parcelas fertilizadas evidenció una notable mejora, ascendiendo a 44,84 kg MS mm⁻¹ comparado con los 31,37 kg MS mm⁻¹ para las no fertilizadas, como consecuencia de la mejor captura y transformación de la radiación solar (IR y EUR). En relación a la EUA_T para producir grano la misma se ubicó en los 14,85 y 7,25 kg/ha mm⁻¹ para fertilizado y sin fertilizante respectivamente, quedando demostrado de esta manera que la fertilización nitrogenada incrementó la EUA tanto para la producción de materia seca como así también para la producción de granos.



Foto 1. Imagen tomada del ensayo el 12/02/07, en donde se aprecian los dos tratamientos.

La mayor biomasa producida por el cultivo de maíz (Fotografía 1) en las parcelas fertilizadas permitió incrementar el porcentaje de radiación interceptada. 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, la cual explica la mayor producción de granos m^{-2} , determinando que el rendimiento en las parcelas fertilizadas ascienda a 5870 kg/ha en aquellas, y fuese de tan solo 2153 kg/ha en las parcelas sin fertilización.

IV. CONCLUSIONES

Con formato

Bajo las condiciones experimentales y ambientales en las cuáles se desarrolló la experiencia, se puede concluir que:

- IV. La fertilización nitrogenada fue 104% más eficiente en el uso del agua transpirada para la producción de granos y un 47 % más eficiente en el uso de la radiación fotosintéticamente activa, respecto a la no fertilizada.
- V. Por el grado de validación obtenido en el Modelo SWB, se concluye que este puede ser utilizado para la simulación del balance hídrico del cultivo de maíz en el paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba.
- VI. Debido a la presencia del mal de Río Cuarto y la ocurrencia de granizo, la realización de nuevos ensayos permitirían corroborar la magnitud de las diferencias encontradas.

V. BIBLIOGRAFÍA

- AGOSTINI, M. A. 2006. Compactación por pisoteo animal en planteos de producción mixta bajo siembra directa. Tesis de grado. Fac. de Agronomía, Universidad Nacional de Mar del Plata, Bs. As., Argentina.
- ALVAREZ R., C. ALVAREZ y STEINBACH H. 2005. Predictions of available nitrogen content in soil profile depth using available nitrogen concentration in surface layer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 759-769.
- ANDRADE, F. H., A., CIRILO, S. A. UHART, y M. OTEGUI. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, Dekalb Press. CRBAS/FAC-UN Mar del Plata. 292 p.
- ANDRADE, F. H., L. A. N., AGUIRREZÁBAL and R. H., RIZZALLI. 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.
- APARICIO V.; J. L. COSTA; H. ECHEVERRÍA y O. CAVIGLIA. 2002. Evaluación de propiedades edáficas y crecimiento del maíz bajo diferentes sistemas de labranza en cuatro sitios del sudeste bonaerense. *RIA*, 31 (3): 55-71. INTA, Argentina.
- BARANDIARAN L.; J. L. COSTA y V. APARICIO. 2003. Evaluación regional del comportamiento del cultivo de girasol bajo tres sistemas de labranza y tres dosis de nitrógeno. Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce. En: http://www.asagir.org.ar/2_congreso/Murales/Barandiaran.pdf.
- BARROS I.; T. GAISER; F. M. LANGE; V. ROMHELD. 2007. Mineral nutrition and water use patterns of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic soil of the tropic semiarid. *Field Crops Research*. vol. 101, n° 1, pp. 26-36.
- 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.
- 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.
- BOOTE, K. J., J. W. JONES y N. B. PICKERING. 1996. Potential Uses and limitations of crop models. *Agron. J.* 88: 704-716.

Con formato: Español (Argentina)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

- 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.
- DARDANELLI J.; D. COLLINO; M. E. OTEGUI y V. O. SADRAS. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: Satorre E., Vence Arnold R., Slafer G. de la Fuente E., Miralles D., Otegui M. y R. Savin (Ed.). Producción de Granos. Editorial FAUBA. (783pp). Buenos Aires.
- DELLA MAGGIORA A.I; J. M. GARDIOL y A. I. IRIGOYEN. 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.
- DOMÍNGUEZ G. F.; G. A. STUDDERT; H. E. ECHEVERRÍA y F. H. ANDRADE. 2001. Sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada en maíz. Ciencia del Suelo 19:47-56.
- 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.; L. MALENA y A. DELLA MAGGIORA. 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.
- ECK, K, P. HILL y J. WILCOX. 1994. Estimating corn and soybean residue cover. Purdue University Cooperative Extension Service. West Lafayette, IN, USA.
- ESPOSITO, G. 2002. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz. Tesis para optar al grado de Magíster en Producción Agropecuaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina. 113 pp.

- ESPOSITO, G.; C. CASTILLO y R. BALBOA. 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba (Argentina). *Revista de Investigación Agraria. RIA* 35 (3): 45-63.
- ESTRADA ESCALANTE, A. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. *Terra* 19: 19-27.
- FABRIZZI, K. 2000. Dinámica del nitrógeno bajo dos sistemas de labranzas en un suelo no degradado. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Bs. As., Argentina.
- FAO. 2002. Agua y cultivos. Depósitos de documentos de la FAO. Roma.
- 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 canopies. In: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Pp. 31-57.
- GILMORE, E. y J. S. ROGERS. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50:611-615.
- GREGORY P.J.; K.D. SHEPHERD y J M. COOPER. 1984. Effect of fertilizer on root growth and water use of barley in Northern Syria. *Journal of Agricultural Science*. 103:429-438.
- 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.
- 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 J. R. KINIRY. 1986. CERES-maize. A simulation of maize growth and development. Texas, A&M Univ. Press.
- KINIRY, J. R. and D. P. KNIEVEL. 1995. Response of maize seed number to solar radiation intercepted soon after anthesis. *Agron. J.* 87:228-234.
- LAGUNA, I. G. y L. DEL V. DI FEO, PROMARC. 1997. Proyecto Mal de Río Cuarto. Hoja Informativa N° 3. Instituto de Fitopatología y Fisiología Vegetal (IFFIVE-INTA), Córdoba, Argentina.
- LENARDON, S.L., G.J. MARCH, S.F. NOME, and J.A. ORNAGHI. 1998. Recent outbreak of "Mal de Río Cuarto Virus" on corn in Argentina. *Plant Disease* 82:448.
- LENARDON, S.L., G.J. MARCH y J.A. ORNAGHI. 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., P. VALLOTE, J. MARCELINO, F. GIOLITTI, S. de BREUIL, y A. SALOMON. 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.
- 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. 292 pp.
- MARCH, G. J., J. A. ORNAGHI, J. E. BEVIACQUA, S. L. LENARDÓN. 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.
- MAROZZI D.; D. DEBORTOLI; M. MENDEZ y H. CURRIE. 2005. Determinación de algunos indicadores de rendimiento en el cultivo de maíz bajo dos sistemas de riego. Cátedra de hidrología agrícola. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Res : A-036.
- MARTELOTTO E.; A. SALINAS; P. SALAS; P. GIMBERGIA; S. LINGUA; F. PIATTI y E. LOVERA. 2005. Resultados en maíz con riego suplementario en Siembra Directa continua en la EEA INTA Manfredi. Ediciones INTA. Año VI - N° 132.
- MICUCCI, F. y C. ÁLVAREZ. 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.
- NIDERA. 2002. Catalogo de productos.
en: <https://www.niderasemillas.com.ar/NideraSemillas/maiz.aspx>. Activo Junio 2008.
Consultado: 20-04-2008
- 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 R. S. LOOMIS. 1981. Nitrogen and plant production. Plant and Soil. 58:177-204.
- 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.
- OTEGUI M. E., M. G. NICOLINI, RUIZ and P. A. DODDS. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. Agr. J. 87: 29-33.

- PASSIOURA, J. B. 1996 a. Simulation models: science, snake oil, education or engineering. *Agr. J.* 88: 690-694.
- PASSIOURA, J. B. 1996 b. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Reg.* 20:79-83.
- PERGOLINI S. 2004. Efecto de la fertilización sobre el consumo y la eficiencia de uso de agua en el cultivo de Trigo. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Biblioteca UNRC. Pp.105.
- 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.
- QUIROGA A.; D. FURANO; O. ORMEÑO; A. BONO y C. SCIANCA. 2003. Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiáridas y subhúmeda pampeana. INTA Anguil, Bol. Div. Tec. N° 79.
- RAUN, J. S. and G. V. JOHNSON. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91: 357 – 363.
- RITCHIE, J. 1985. A user orientated model of the soil water balance in wheat. Plenum Publishing Corporation.
- RITCHIE W. and 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.
- RIZZALLI R H. 1998. Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de nitrógeno. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce. 35p.
- SINCLAIR, T. R., C. B. TANNER and J. M. BENNET. 1984. Water-use efficiency in crop production. *BioScience* 34: 36-40.
- SINCLAIR, T. R. and T. HORIE. 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.

- UHARTH, S. A., and F. H. ANDRADE. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383.
- VAN ITTERSUM, M.K. y R. RABBINGE. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input output combinations. *Field Crops Res.* 52:197-208
- VENTIMIGLIA L. A. y L. TRORENS. 2008. Mal de Río Cuarto. Evaluación de pérdidas en híbridos. *AER INTA* 9 de Julio.
- WILLMOTT, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society.* 63 (11):1309-1313.

II. ANEXOS

Con formato

Materia seca evaluada en cada subperiodo del ciclo del cultivo

	V5	V9	V13	R1	R3	R6
Trata	MST (KG MS/HA)					
F	200,00	1443,81	4890,23	9484,00	15385,00	15185,00
	170,00	1321,00	5131,61	10341,72	15222,00	15022,00
	161,77	1934,69	5520,74	8534,32	13983,51	13783,51
	210,00	1421,71	3900,82	6488,45	13430,00	13230,00
F	212,07	1817,96	3826,05	9399,00	15143,21	14943,21
	156,44	1316,94	3084,41	9523,00	16000,00	15800,00
	196,11	1411,13	3979,67	10210,00	15840,00	15640,00
	217,09	1317,55	5134,97	9000,00	17061,22	16861,22
F	267,45	1538,73	5321,00	9570,00	20000,00	19800,00
	300,00	1683,43	3419,59	11398,43	21797,23	21597,23
	302,93	1599,00	5738,98	11055,77	20275,04	20075,04
	328,76	1567,57	5720,00	10980,00	19520,00	19320,00
F	185,14	1238,44	4341,21	8021,91	11985,56	11785,56
	272,28	1334,97	5680,21	8841,28	13627,94	13427,94
	186,73	803,88	5727,93	11010,61	15464,71	15264,71
	237,56	1579,61	3248,00	10619,72	16149,54	15949,54
NF	109,77	542,69	1873,46	6035,13	9773,21	9573,21
	98,17	756,31	2082,87	5600,00	8207,50	8007,50
	100,00	900,00	2938,77	8600,00	10679,98	10479,98
	115,37	681,24	3001,83	7300,00	9900,00	9700,00
NF	84,51	519,53	1780,59	3672,84	8046,85	7846,85
	95,00	584,00	1874,00	5699,59	8827,58	8627,58
	100,00	650,00	2280,51	5780,92	10619,57	10419,57
	81,19	672,00	2184,70	4086,17	6229,37	6029,37
NF	91,93	674,59	2900,00	7423,44	11065,62	10865,62
	118,32	678,84	3253,65	7015,20	12146,94	11946,94
	124,97	896,86	3330,00	8816,65	11000,00	10800,00
	103,59	887,07	4005,44	6723,71	10460,43	10260,43
NF	119,00	736,10	2667,74	7041,00	8754,00	8554,00
	147,00	722,02	3470,53	7450,40	8728,44	8528,44
	133,92	639,00	3302,14	7486,42	9031,00	8831,00
	136,12	596,73	3751,61	7600,00	8760,00	8560,00

Valores de Densidad Aparente (PEA) observadas en cada bloque. Valores utilizados para evaluar a cada tratamiento en el modelo de simulación SWB.

Con formato

	1	2	3	4
Profundidad	PEA	PEA	PEA	PEA
m	Mg/m3	Mg/m3	Mg/m3	Mg/m3
0.02	1.07	1.33	1.16	1.26
0.04	1.07	1.33	1.16	1.26
0.1	1.07	1.33	1.16	1.26
0.2	1.32	1.4	1.33	1.32
0.3	1.3	1.41	1.35	1.35
0.4	1.25	1.25	1.25	1.25
0.5	1.25	1.25	1.25	1.25
0.6	1.21	1.21	1.21	1.21
0.7	1.21	1.21	1.21	1.21
0.9	1.21	1.21	1.21	1.21
1.1	1.22	1.22	1.22	1.22
1.3	1.23	1.23	1.23	1.23
1.5	1.21	1.21	1.21	1.21
2	1.21	1.21	1.21	1.21

Humedades (%) evaluada en cada subperiodo durante el ciclo del cultivo

RATA	PROFUNDIDAD	Siembra	V6	V9	V13	R1	R3
F	0-20	17.3%	19.3%	17.4%	18.8%	16.9%	22.0%
	20-40	12.0%	17.5%	14.8%	14.6%	14.0%	17.3%
	40-60	6.6%	15.5%	14.4%	14.3%	13.4%	13.8%
	60-80	7.0%	12.2%	11.3%	10.7%	11.5%	10.4%
	80-100	7.4%	7.9%	9.7%	13.8%	13.2%	11.0%
F	0-20	17.3%	18.3%	16.0%	19.7%	18.0%	20.0%
	20-40	11.3%	16.0%	14.2%	13.9%	14.5%	16.0%
	40-60	7.3%	14.2%	14.4%	13.2%	12.9%	14.6%
	60-80	7.5%	11.4%	11.5%	15.7%	14.0%	13.9%
	80-100	7.5%	9.3%	9.8%	15.6%	14.0%	14.3%
F	0-20	17.7%	19.7%	19.5%	18.9%	17.5%	20.0%
	20-40	10.1%	18.3%	18.2%	14.6%	13.8%	15.2%
	40-60	8.4%	16.0%	17.5%	14.1%	11.8%	10.0%
	60-80	8.5%	13.3%	16.4%	13.2%	10.0%	10.0%
	80-100	9.2%	9.1%	14.6%	9.7%	9.8%	11.0%
F	0-20	17.7%	18.6%	18.8%	19.1%	16.9%	21.0%
	20-40	9.8%	17.7%	15.1%	15.0%	14.0%	20.0%
	40-60	7.3%	15.3%	15.2%	13.2%	13.4%	12.0%
	60-80	7.5%	16.0%	16.3%	15.1%	11.5%	9.9%
	80-100	7.5%	8.7%	14.8%	13.0%	13.2%	9.2%
NF	0-20	17.1%	17.3%	17.2%	20.6%	17.9%	21.2%
	20-40	10.5%	16.5%	15.4%	15.3%	13.7%	17.0%
	40-60	8.1%	14.1%	14.3%	13.7%	11.8%	12.0%
	60-80	8.3%	10.9%	12.3%	13.7%	10.0%	9.0%
	80-100	8.7%	8.7%	11.1%	13.9%	8.1%	9.2%
NF	0-20	16.8%	18.1%	15.1%	20.2%	18.1%	18.4%
	20-40	9.2%	15.2%	13.2%	14.9%	16.0%	16.0%
	40-60	7.3%	11.1%	12.4%	14.5%	12.9%	14.7%
	60-80	7.1%	12.8%	11.7%	13.1%	10.0%	14.0%
	80-100	7.8%	11.1%	10.9%	15.9%	7.8%	13.0%
NF	0-20	17.3%	17.1%	18.3%	17.8%	17.3%	18.0%
	20-40	10.3%	15.7%	15.6%	16.8%	14.1%	17.2%
	40-60	7.2%	15.3%	12.3%	11.2%	12.9%	14.6%
	60-80	7.5%	14.8%	13.8%	15.0%	11.8%	14.1%
	80-100	7.5%	13.7%	15.9%	12.0%	7.8%	14.8%

NF	0-20	17.4%	16.9%	17.1%	18.2%	16.8%	18.1%
	20-40	14.0%	15.4%	15.1%	13.8%	14.1%	17.9%
	40-60	7.0%	9.0%	8.0%	10.2%	12.7%	15.5%
	60-80	8.2%	10.0%	9.2%	7.7%	9.6%	14.1%
	80-100	7.1%	12.8%	14.2%	11.5%	9.1%	14.7%

Cantidad de materia seca total (MST) del rastrojo y % de cobertura con rastrojo de la superficie del suelo. Evaluaciones realizadas previo a la siembra del cultivo de maíz.

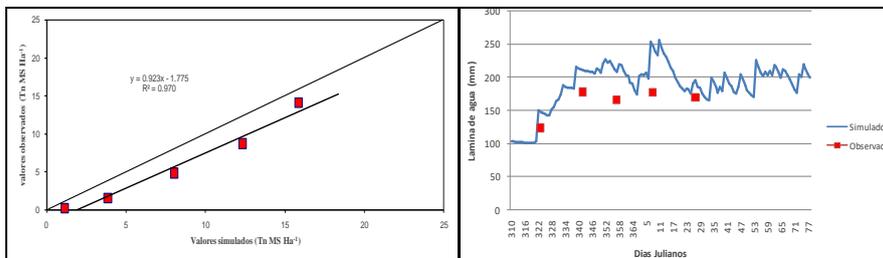
Bloque	Tratamiento	Cobertura (kg MS ha ⁻¹)
1	F	8619.6
		6057.6
2	F	7380.2
		6520.1
3	F	9579.6
		6455.6
4	F	8520.8
		7320.4
1	NF	2475.2
		2894.4
2	NF	2581.3
		2617
3	NF	5598.4
		4817.2
4	NF	5203.1
		4891.1

VALORES DE AJUSTE ENCONTRADO EN CADA UNA DE LAS PARCELAS

PARCELA 1, TRATAMIENTO CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Observado- simulado MST

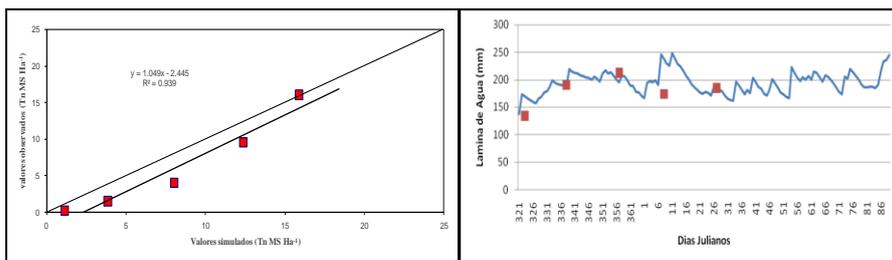
Observado –simulado lámina de agua



PARCELA 2, TRATAMIENTO CON FERTILIZACION NITROGENADA

Observado- simulado MST

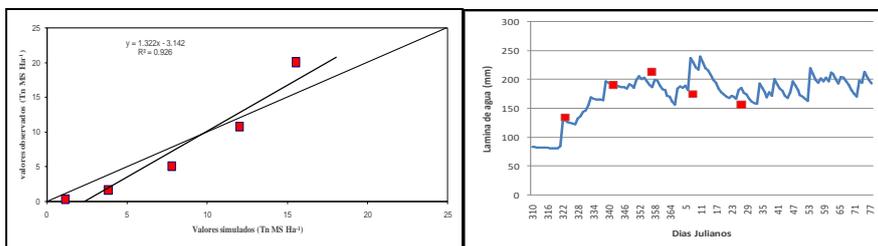
Observado - simulado lámina de agua



PARCELA 3, CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Observado – simulado MST

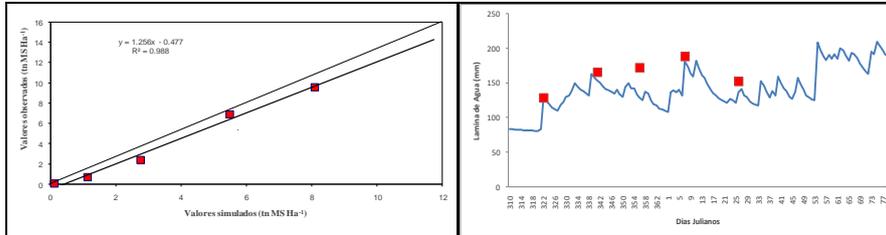
Observado - simulado lámina de agua



PARCELA 1, SIN FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Observado – simulado MST

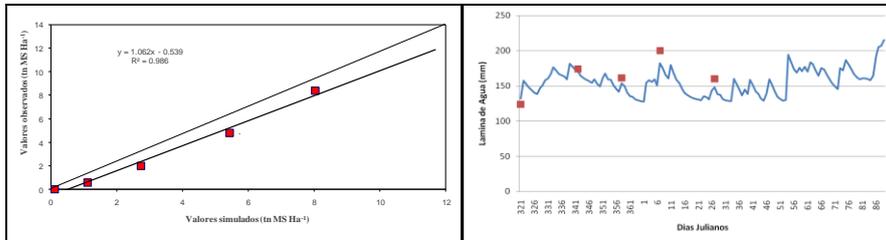
Observado - simulado lámina de agua



PARCELA 2, SIN FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Observado – simulado MST

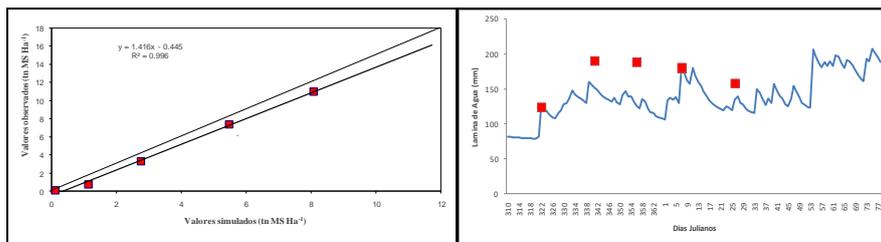
Observado - simulado lámina de agua



PARCELA 3, SIN FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Observado – simulado MST

Observado - simulado lámina de agua



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

TABLAS ANAVA

Cantidad de rastrojo en la superficie del suelo en Kg MS ha⁻¹:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura	16	0.70	0.67	22.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	53935070.40	1	53935070.40	31.99	0.0001
Trata	53935070.40	1	53935070.40	31.99	0.0001
Error	23603263.79	14	1685947.41		
Total	77538334.19	15			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=1392.43845

Error: 1685947.4134 gl: 14

Trata	Medias	n	
NF	3884.71	8	A
F	7556.74	8	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

% de cobertura con rastrojo de la superficie del suelo:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura	16	0.49	0.46	21.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3630.06	1	3630.06	13.68	0.0024
Trata	3630.06	1	3630.06	13.68	0.0024
Error	3714.88	14	265.35		
Total	7344.94	15			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=17.46876

Error: 265.3482 gl: 14

Trata	Medias	n	
NF	59.88	8	A
F	90.00	8	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Incidencia de Mal de Río Cuarto en maíz AX 882 IT:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Incidencia	30	0.75	0.74	37.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6895.27	1	6895.27	84.83	<0.0001
Trata	6895.27	1	6895.27	84.83	<0.0001
Error	2275.90	28	81.28		
Total	9171.16	29			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=6.75097

Error: 81.2820 gl: 28

Trata	Medias	n	
F	7.58	14	A
NF	37.97	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Transpiración expresada en mm durante todo el ciclo del cultivo, para parcelas con fertilización y sin fertilización:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TRANS	8	1.00	1.00	0.87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19269.39	1	19269.39	2102.86	<0.0001
TRATA	19269.39	1	19269.39	2102.86	<0.0001
Error	54.98	6	9.16		
Total	19324.37	7			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=5.23759

Error: 9.1634 gl: 6

TRATA	Medias	n	
NF	296.90	4	A
F	395.05	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Evaporación expresada en mm durante todo el ciclo del cultivo, para parcelas con fertilización y sin fertilización:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EVAPO	8	1.00	1.00	0.89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26700.19	1	26700.19	22512.22	<0.0001
TRATA	26700.19	1	26700.19	22512.22	<0.0001
Error	7.12	6	1.19		
Total	26707.31	7			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=1.88431

Error: 1.1860 gl: 6

TRATA	Medias	n	
F	65.04	4	A
NF	180.58	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Escurrimiento expresado en mm durante todo el ciclo del cultivo, para parcelas con fertilización y sin fertilización:

ESCURREIMIENTO

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
ESCURRE	8	0.84	0.82	3.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	493.43	1	493.43	32.12	0.0013
TRATA	493.43	1	493.43	32.12	0.0013
Error	92.17	6	15.36		
Total	585.61	7			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=6.78159

Error: 15.3623 gl: 6

TRATA Medias n

NF 107.74 4 A

F 123.45 4 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Producción de biomasa acumulada por estadio fenológico de maíz (AX 882), según tratamiento, expresado como kg MS ha⁻¹:

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
E-V6	32	0.69	0.68	24.06

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	106429.99	1	106429.99	65.44	<0.0001
TRATA	106429.99	1	106429.99	65.44	<0.0001
Error	48788.38	30	1626.28		
Total	155218.37	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=29.11831

Error: 1626.2793 gl: 30

TRATA Medias n

NF 109.93 16 A

F 225.27 16 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Producción de biomasa acumulada entre V6 y V8:

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
V6-V8	32	0.79	0.78	18.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	4646249.34	1	4646249.34	114.02	<0.0001
TRATA	4646249.34	1	4646249.34	114.02	<0.0001
Error	1222486.61	30	40749.55		
Total	5868735.96	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=145.75721

Error: 40749.5537 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	696.06	16	A
F	1458.15	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Producción de biomasa acumulada entre V8 y V13:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V8-V13	32	0.57	0.55	22.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28064245.35	1	28064245.35	39.07	<0.0001
TRATA	28064245.35	1	28064245.35	39.07	<0.0001
Error	21550188.49	30	718339.62		
Total	49614433.84	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=611.97477

Error: 718339.6165 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	2793.62	16	A
F	4666.59	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Producción de biomasa acumulada entre V13 y R1:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V13-R1	32	0.56	0.55	16.78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	72440892.89	1	72440892.89	38.74	<0.0001
TRATA	72440892.89	1	72440892.89	38.74	<0.0001
Error	56093401.00	30	1869780.03		
Total	128534293.89	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=987.33349

Error: 1869780.0333 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	6645.72	16	A
F	9654.89	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Producción de biomasa acumulada entre R1 y R3:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R1-R3	32	0.72	0.71	17.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	368931057.84	1	368931057.84	75.43	<0.0001
TRATA	368931057.84	1	368931057.84	75.43	<0.0001

Error	146732376.73	30	4891079.22
Total	515663434.57	31	

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=1596.87513

Error: 4891079.2244 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	9514.41	16	A
F	16305.31	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Producción de biomasa acumulada entre R3 y R6:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R3-R6	32	0.72	0.71	17.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	368931057.84	1	368931057.84	75.43	<0.0001
trata	368931057.84	1	368931057.84	75.43	<0.0001
Error	146732376.73	30	4891079.22		
Total	515663434.57	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=1596.87513

Error: 4891079.2244 gl: 30

trata	Medias	n	
NF	9314.41	16	A
F	16105.31	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Eficiencias en el uso del agua evapotranspirada para la producción de materia seca total, en kg MS mm⁻¹

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA ET MS	32	0.84	0.83	14.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2695.93	1	2695.93	154.26	<0.0001
TRATA	2695.93	1	2695.93	154.26	<0.0001
Error	524.31	30	17.48		
Total	3220.24	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=3.01857

Error: 17.4769 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	19.69	16	A
F	38.05	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Eficiencias en el uso del agua transpirada para la producción de materia seca total, en kg MS mm⁻¹

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA T MS	32	0.63	0.62	13.89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1449.97	1	1449.97	51.77	<0.0001
TRATA	1449.97	1	1449.97	51.77	<0.0001
Error	840.19	30	28.01		
Total	2290.16	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=3.82117

Error: 28.0063 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	31.37	16	A
F	44.84	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Eficiencia en el uso del agua transpirada para la producción de grano, en kg G mm⁻¹

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA T G	8	0.95	0.94	9.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	115.52	1	115.52	107.63	<0.0001
TRATA	115.52	1	115.52	107.63	<0.0001
Error	6.44	6	1.07		
Total	121.96	7			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=1.79255

Error: 1.0733 gl: 6

TRATA	Medias	n	
NF	7.25	4	A
F	14.85	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Eficiencia en el uso del agua evapotranspirada para la producción de grano, en kg G mm⁻¹

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA ET G	8	0.97	0.97	9.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	150.51	1	150.51	195.57	<0.0001
TRATA	150.51	1	150.51	195.57	<0.0001
Error	4.62	6	0.77		
Total	155.13	7			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=1.51786

Error: 0.7696 gl: 6

TRATA	Medias	n	
NF	4.48	4	A

F 13.15 4 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Radiación Fotosintéticamente Interceptada en $Mj m^{-2}$, acumulada entre estadio fenológicos

RFAi acumulada entre Emergencia y V6:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RFAi E-V6	24	0.29	0.26	22.11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18.35	1	18.35	8.88	0.0069
TRATA	18.35	1	18.35	8.88	0.0069
Error	45.45	22	2.07		
Total	63.81	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=1.21697

Error: 2.0661 gl: 22

TRATA	Medias	n	
NF	3.87	12	A
F	5.62	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

RFAi acumulada entre V6 y V8:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RFAi V6-V8	24	0.19	0.16	22.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	779.19	1	779.19	5.30	0.0312
TRATA	779.19	1	779.19	5.30	0.0312
Error	3237.40	22	147.15		
Total	4016.60	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=10.27055

Error: 147.1547 gl: 22

TRATA	Medias	n	
NF	49.12	12	A
F	60.52	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

RFAi acumulada entre V8 y V13:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RFAi V8-V13	24	0.50	0.48	9.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2566.34	1	2566.34	22.09	0.0001
TRATA	2566.34	1	2566.34	22.09	0.0001
Error	2556.24	22	116.19		
Total	5122.58	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=9.12633

Error: 116.1928 gl: 22

TRATA	Medias	n	
NF	108.52	12	A
F	129.20	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

RFAi acumulada entre V13 y R1:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RFAi V13-R1	24	0.74	0.73	4.67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4716.38	1	4716.38	62.26	<0.0001
TRATA	4716.38	1	4716.38	62.26	<0.0001
Error	1666.51	22	75.75		
Total	6382.88	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=7.36884

Error: 75.7504 gl: 22

TRATA	Medias	n	
NF	172.16	12	A
F	200.20	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

RFAi acumulada entre R1 y R3:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RFAiR1-R3	24	0.82	0.81	4.45

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4910.05	1	4910.05	100.00	<0.0001
TRATA	4910.05	1	4910.05	100.00	<0.0001
Error	1080.16	22	49.10		
Total	5990.21	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=5.93252

Error: 49.0983 gl: 22

TRATA	Medias	n	
NF	142.98	12	A
F	171.59	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) por estadio fenológico (g MJ⁻¹):

EUR entre Emergencia y V6:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
E-V6	24	0.36	0.33	24.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.37	1	7.37	12.15	0.0021
TRATA	7.37	1	7.37	12.15	0.0021
Error	13.35	22	0.61		
Total	20.72	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.65951

Error: 0.6068 gl: 22

TRATA Medias n

NF 2.60 12 A

F 3.71 12 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

EUR entre V6 y V8:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V6-V8	24	0.45	0.43	28.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.18	1	4.18	18.28	0.0003
TRATA	4.18	1	4.18	18.28	0.0003
Error	5.03	22	0.23		
Total	9.22	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.40498

Error: 0.2288 gl: 22

TRATA Medias n

NF 1.26 12 A

F 2.09 12 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

EUR entre V8 y V13:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V8-V13	24	0.20	0.17	35.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.32	1	3.32	5.58	0.0274
TRATA	3.32	1	3.32	5.58	0.0274
Error	13.07	22	0.59		
Total	16.38	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.65255

Error: 0.5940 gl: 22

TRATA Medias n

NF 1.82 12 A

F 2.57 12 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

EUR entre V13 y R1:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V13-R1	24	0.37	0.34	16.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.27	1	2.27	13.05	0.0015
TRATA	2.27	1	2.27	13.05	0.0015
Error	3.83	22	0.17		
Total	6.10	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.35309

Error: 0.1739 gl: 22

TRATA	Medias	n
NF	2.21	12
F	2.82	12

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

EUR entre R1 y R3:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R1-R3	24	0.36	0.33	36.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.54	1	14.54	12.56	0.0018
TRATA	14.54	1	14.54	12.56	0.0018
Error	25.46	22	1.16		
Total	40.00	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.91089

Error: 1.1575 gl: 22

TRATA	Medias	n
NF	2.18	12
F	3.74	12

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Eficiencia en el uso de la radiación durante el periodo crítico del cultivo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUR V13-R3	24	0.61	0.59	15.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.70	1	5.70	34.27	<0.0001
TRATA	5.70	1	5.70	34.27	<0.0001
Error	3.66	22	0.17		
Total	9.37	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.34541

Error: 0.1664 gl: 22

TRATA	Medias n	
NF	2.07	12 A
F	3.05	12 B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Rendimiento en kg de granos ha⁻¹ y componentes directos de un maíz (AX 882 IT) fertilizado y sin fertilizar:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	16	0.96	0.96	9.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	55278481.50	1	55278481.50	380.14	<0.0001
Trata	55278481.50	1	55278481.50	380.14	<0.0001
Error	2035821.41	14	145415.81		
Total	57314302.91	15			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=408.94021

Error: 145415.8148 gl: 14

trata	Medias n	
NF	2152.54	8 A
F	5870.01	8 B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Peso 1000 semillas:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P1000	16	0.09	0.03	9.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	588.06	1	588.06	1.44	0.2505
TRATA	588.06	1	588.06	1.44	0.2505
Error	5727.88	14	409.13		
Total	6315.94	15			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=21.69136

Error: 409.1339 gl: 14

TRATA	Medias n	
NF	204.50	8 A
F	216.63	8 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Numero de granos m⁻²:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N ²	16	0.96	0.96	9.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10988644.88	1	10988644.88	329.31	<0.0001
TRATA	10988644.88	1	10988644.88	329.31	<0.0001
Error	467164.36	14	33368.88		

Total 11455809.24 15

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=195.89567

Error: 33368.8827 gl: 14

TRATA Medias n

NF 1019.59 8 A

F 2677.04 8 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Tasa de crecimiento del cultivo por estadio fenológico:

Tasa de crecimiento del cultivo entre Emergencia – V6 (g MS m⁻² día⁻¹):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
E-V6	32	0.69	0.68	24.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.41	1	7.41	65.77	<0.0001
TRATA	7.41	1	7.41	65.77	<0.0001
Error	3.38	30	0.11		
Total	10.79	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.24237

Error: 0.1127 gl: 30

TRATA Medias n

NF 0.92 16 A

F 1.88 16 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Tasa de crecimiento del cultivo entre V6 – V9 (g MS m⁻² día⁻¹):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V6-V9	32	0.74	0.74	21.51

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	148.74	1	148.74	87.40	<0.0001
TRATA	148.74	1	148.74	87.40	<0.0001
Error	51.05	30	1.70		
Total	199.79	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.94192

Error: 1.7017 gl: 30

TRATA Medias n

NF 3.91 16 A

F 8.22 16 B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Tasa de crecimiento del cultivo entre V9-V13 (g MS m⁻² día⁻¹):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V9-V13	32	0.30	0.28	32.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	385.73	1	385.73	13.05	0.0011
TRATA	385.73	1	385.73	13.05	0.0011
Error	886.89	30	29.56		
Total	1272.62	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=3.92594

Error: 29.5632 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	13.11	16	A
F	20.05	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)Tasa de crecimiento del cultivo entre V13-R1 (g MS m⁻² día⁻¹):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
V13-R1	32	0.17	0.14	29.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	285.96	1	285.96	5.97	0.0206
TRATA	285.96	1	285.96	5.97	0.0206
Error	1436.78	30	47.89		
Total	1722.75	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=4.99694

Error: 47.8928 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	20.27	16	A
F	26.25	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)Tasa de crecimiento del cultivo entre R1 – R3 (g MS m⁻² día⁻¹):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R1-R3	32	0.56	0.55	36.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3530.52	1	3530.52	38.95	<0.0001
TRATA	3530.52	1	3530.52	38.95	<0.0001
Error	2719.53	30	90.65		
Total	6250.05	31			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=6.87472

Error: 90.6511 gl: 30

TRATA	Medias	n	
NF	15.94	16	A
F	36.95	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)