

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

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

**Título Del Trabajo Final: PRODUCCIÓN MATERIA SECA DE UN CULTIVO DE  
MAÍZ (*Zea mays L.*) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE RIEGO**

**Autor: MILITELLO, ANA CAROLINA**

**Director: Ing. Agr. M. Sc. ANA ROSA RIVETTI**

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

**(Nombres)**

---

---

---

**Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.**

**Aprobado por Secretaría Académica: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.**

---

**Secretario Académico**

## **DEDICATORIA**

A la persona más importante de mi vida: Mi hija María Victoria. A mi papá que me incentivó siempre a seguir adelante. A mis sobrinos Joaquín, Emma, Pedro y José y a mis hermanas. A mi mamá. A mis amigos y compañeros que forman y formaron parte de mi vida y me han apoyado siempre. A todos los que hicieron lo posible para que concluya esta etapa de mi vida exitosamente.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los que confiaron y me enseñaron que lo que cuesta, vale. A los que colaboraron para que el sueño de terminar esta carrera, se realizara con éxito. A mis amigas de la vida. A Marina, Vico, Laura, Pablo, Guille, Ivonne, Vale, Nico, Ema, Carlitos, Mamá, Papá, Susana, Marcos, Yolanda, Ñata y Blanca. GRACIAS.

## ÍNDICE GENERAL

|                                 | Página |
|---------------------------------|--------|
| Certificado de Aprobación ..... | I      |
| Dedicatoria.....                | II     |
| Agradecimientos.....            | III    |
| Índice.....                     | IV     |
| Resumen.....                    | VI     |
| Abstract.....                   | VII    |
| Introducción.....               | 1      |
| Hipótesis.....                  | 5      |
| Objetivos.....                  | 5      |
| Materiales y Métodos.....       | 6      |
| Resultados y Discusión.....     | 13     |
| Conclusiones.....               | 25     |
| Bibliografía.....               | 26     |
| Anexo.....                      | 29     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                         | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. Precipitación normal mensual (serie 1977-2006) y total mensual de la campaña 2007-2008 (mm).....                                                              | 6      |
| Figura 2. Diseño de la parcela .....                                                                                                                                    | 9      |
| Figura 3. Precipitación semanal durante la campaña 2007/2008 (mm).....                                                                                                  | 13     |
| Figura 4. Porcentaje de MS acumulada de los tratamientos T0 y T4, desde siembra hasta madurez fisiológica .....                                                         | 15     |
| Figura 5. Producción de materia seca total.....                                                                                                                         | 17     |
| Figura 6. Producción de materia seca de hojas.....                                                                                                                      | 18     |
| Figura 7. Producción de materia seca de tallos.....                                                                                                                     | 18     |
| Figura 8. Producción de materia seca de panojas.....                                                                                                                    | 19     |
| Figura 9. Producción de materia seca de espigas.....                                                                                                                    | 20     |
| Figura 10. Diagrama de cajas de la variable materia seca total para los distintos tratamientos.....                                                                     | 21     |
| Figura 11. Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitaciones (Pppt) y riegos realizados para el tratamiento T0..... | 23     |

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 12. Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitaciones (Pp) y riegos realizados para el tratamiento T4..... | 24 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                       | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabla 1. Resultados del análisis químico (Agosto de 2007).....                                                                        | 7      |
| Tabla 2. Datos de la calicata.....                                                                                                    | 8      |
| Tabla 3. Parámetros físicos del suelo.....                                                                                            | 8      |
| Tabla 4: Análisis físico-químico de agua.....                                                                                         | 11     |
| Tabla 5. Fenología del cultivo.....                                                                                                   | 14     |
| Tabla 6. Producción de materia seca total (kg.ha <sup>-1</sup> ) para las distintas etapas fenológicas en cada tratamiento.....       | 16     |
| Tabla 7. Eficiencia del uso del agua, producción de materia seca y evapotranspiración del cultivo para cada tratamiento de riego..... | 22     |
| Tabla 8: Riegos aplicados (R), Precipitación efectiva y Evapotranspiración del cultivo ( ETc).....                                    | 23     |

## ANEXO

|                                                                                       | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabla 1. Producción de materia seca por órgano en los distintos estadios para T0..... | 29     |
| Tabla 2. Producción de materia seca por órgano en los distintos estadios para T4..... | 29     |
| Tabla 3. Acumulación de materia seca desde siembra hasta madurez fisiológica.....     | 30     |
| Tabla 4 Proporción de espiga sobre MS total durante el ciclo del cultivo.....         | 30     |
| Tabla 5. Análisis de varianza para materia seca de hoja.....                          | 31     |
| Tabla 6. Análisis de varianza para materia seca de tallo.....                         | 31     |
| Tabla 7. Análisis de varianza para materia seca de panoja.....                        | 32     |
| Tabla 8. Análisis de varianza para materia seca de espiga.....                        | 32     |
| Tabla 9. Análisis de varianza para materia seca total.....                            | 33     |
| Tabla 10. Análisis de varianza para eficiencia de uso de agua.....                    | 33     |
| Tabla 11. Balance de agua semanal T0 .....                                            | 34     |
| Tabla 12. Balance de agua semanal T4 .....                                            | 35     |

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes programaciones de riego sobre la producción de materia seca (MS) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) El ensayo se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, empleando un maíz híbrido Nidera AX 884 CL sembrado el 7 de diciembre del 2007 con una densidad de siembra de 95.000 semillas.ha<sup>-1</sup>. Se utilizó un diseño de franjas en bloques con dos factores: Factor 1: Riego con 5 niveles y Factor 2: Fertilización con 2 niveles. Se realizaron 5 repeticiones (Bloques). En este trabajo se analizaron solo dos tratamientos de riego: **T0**: Testigo, partiendo de capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo, efectuándose la reposición cuando se consumieron 25 mm. **T4**: El riego se realizó considerando un coeficiente de estrés  $K_s$  de 0,60, en todo el ciclo. Cada vez que se alcanzó el umbral establecido se aplicó una lámina de riego de 25 mm. Los tratamientos de fertilización fueron: **FI**: Fertilización nitrogenada completa en el estadio fenológico de 6 hojas (V6) y **FII**: Fertilización nitrogenada repartida en siembra y estadio fenológico de 6 hojas (V6). Los momentos de riego se establecieron mediante un balance hídrico y se realizaron utilizando un equipo de riego presurizado de avance lateral. Los rendimientos de materia seca obtenidos para cada tratamiento fueron T0-FI: 21060,4 kg ha<sup>-1</sup>, T0-FII: 24697,5 kg ha<sup>-1</sup>, T4-FI: 22907,4v kg ha<sup>-1</sup> y T4-FII: 21897,5 kg ha<sup>-1</sup>. El análisis estadístico no resultó significativo para la producción de materia seca entre los tratamientos. Las precipitaciones ocurridas en el ciclo del cultivo fueron de 538 mm y la cantidad de agua aplicada fue de 125 mm (T0) y 25 mm (T4). La eficiencia del uso de agua para producción de materia seca no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos y fue de 5.01 kg.m<sup>-3</sup> en promedio.

Palabras claves: maíz, programaciones de riego, materia seca, eficiencia del uso del agua.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of different irrigation programs on the dry matter production of corn crop. This project was carried out at the experimental field of the National University of Río Cuarto, using Nidera AX 884 CL hybrid maize, which was sowed on December 7<sup>th</sup>, 2007, with a sowing density of 95.000 seeds.ha<sup>-1</sup>. A stripped blocked design was used with two factors: Factor 1: Irrigation with 5 levels and Factor 2: Fertilization with 2 levels. 5 repetitions were conducted (Blocks). In this work only two irrigation treatments were analyzed: **T0**: Control, was irrigated during the whole cycle when 25 mm of available soil water was consumed. **T4**: Irrigation was carried out considering a stress coefficient  $K_s$  of 0.60 on the whole cycle. Every time the established threshold was reached, 25 mm were applied. The fertilizing treatments were: **FI**: Complete Nitrogenous Fertilization on the stage of 6 leaves (V6) and **FII**: Distributed Nitrogenous Fertilization on sowing on the stage of 6 leaves (V6). The irrigation frequency was determined by water balance and a pressurized irrigation equipment of lateral advance was used for the irrigation it self. In this work the irrigation treatments T0 y T4 and both fertilizing treatments were analyse. The dry matter yields obtained for each treatment were T0-FI: 21060,4 kg ha<sup>-1</sup>, T0-FII: 24697,5 kg ha<sup>-1</sup>, T4-FI: 22907,4 kg ha<sup>-1</sup> y T4-FII: 21897,5 kg ha<sup>-1</sup>. The statistical analysis was not significant for dry matter production none of the treatments. Rainfalls during the whole cultivating cycle were of 538 mm and the amount of water irrigated was 125 mm (T0) and 25 mm (T4). The efficiency of water usage for dry matter production had no significant differences among the irrigation treatments and was 5.01 kg m<sup>-3</sup> average.

Key words: corn, irrigation programs, dry matter, water use efficiency

## INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales utilizados por el hombre desde épocas remotas y una de las especies vegetales más productivas, tanto en su producción global -cerca de 600 millones de toneladas por año- como en su productividad -más de 4 t ha<sup>-1</sup>. Su centro de origen está en México desde donde se difundió a todo el mundo (Paliwal *et al.*, 2001).

La producción mundial de maíz se destina, en su mayor proporción, a la alimentación animal y en algunos países se emplea como alimento humano en cantidades significativas. Además, es una importante fuente de materia prima para producir almidón y derivados, como edulcorantes, aceites, alcohol, entre otros (Robutti, 2004).

A nivel internacional, la producción total de maíz para la campaña 2007/08 fue de aproximadamente 766 millones de toneladas, 70 millones más que la campaña anterior, donde la mayor producción se registró en EEUU con aproximadamente 338 millones de toneladas. Argentina es el quinto país productor y se ubica como segundo exportador a nivel mundial (SAGPyA, 2007).

El maíz es uno de los principales cultivos en nuestro país, centrándose como zona núcleo a la Pampa Húmeda. Además de la importancia que tiene este cultivo en la Republica Argentina y en Córdoba, la zona de Río Cuarto ocupa un lugar preponderante en la provincia ya que el 40% de la superficie sembrada corresponde a esta zona (SAGPyA, 2007).

La principal limitante de la producción de cultivos extensivos en la provincia de Córdoba, es la deficiencia en la disponibilidad de agua, determinada no sólo por la variabilidad de las precipitaciones, sino también por los relativamente bajos niveles de aprovechamiento (lluvia efectiva). Esto es debido a la degradación física del suelo, provocada por el intenso laboreo durante décadas y la falta de rotaciones (Salinas *et al.*, 2006).

El riego suplementario es quizás la tecnología que puede provocar el mayor impacto productivo, permitiendo aumentar los rendimientos y disminuir su variabilidad interanual (Salinas *et al.*, 2006), debido a que, puede compensar la pérdida de agua por evapotranspiración cuando la lluvia es insuficiente. A partir del año 1993, comenzó una importante expansión del área bajo riego suplementario en cultivos extensivos en la provincia, superando 76.800 ha en el año 2004, siendo esta actividad, más utilizada para el cultivo de maíz (Salinas *et al.*, 2006).

El riego permite evitar deficiencias hídricas, lo que hace posible mantener el rendimiento a niveles óptimos, siempre que los demás factores no sean limitantes. El empleo del riego requiere el uso adecuado de las demás medidas de manejo, y no siempre resulta económicamente viable (Marozzi *et al.*, 2005).

El maíz pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada del género *Zea* (*Zea mays* L.). La planta de maíz tiene rasgos muy particulares, como la existencia de un tallo principal único, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar hasta cuatro metros de altura, robusto y sin ramificaciones. Presenta nudos y entrenudos macizos que se elongan en etapas avanzadas del desarrollo y una médula esponjosa al realizar un corte transversal (Villalobos, 1998).

La planta es diclina monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro del mismo individuo. La inflorescencia masculina presenta una panoja de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen, en el orden de 20 a 25 millones de granos. En cada florecilla que compone la panoja se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. Las flores femeninas aparecen en la axila de algunas hojas y están agrupadas en una espiga rodeada de largas brácteas, conocida con el nombre de mazorca (Andrade *et al.*; 1996).

El cultivo de maíz es muy eficiente en la producción de biomasa. Esta alta capacidad de producción se debe, entre otros factores, a una elevada tasa fotosintética, a un bajo valor energético de la materia seca producida y a una adecuada estructura de cultivo. En consecuencia, en ambientes que presenten alta radiación, elevada amplitud térmica y no posean limitaciones hídricas ni nutricionales importantes es de esperar altos potenciales productivos (Lorenzatti, 2001).

La acumulación de materia seca (MS) aérea del cultivo de maíz depende de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) desde la emergencia hasta la madurez fisiológica. A su vez, la TCC es función de la radiación solar incidente y de la eficiencia con que el cultivo la intercepta y la transforma en MS (Barbieri *et al.*, 2001). Un estrés hídrico en floración reduce dicha eficiencia de conversión en biomasa (Lorenzatti, 2001).

Durante el ciclo del cultivo se va concretando el crecimiento y desarrollo de acuerdo al genotipo. El ambiente regula la expresión del potencial genético condicionando entonces el resultado final. Una de las más claras manifestaciones del curso del crecimiento está dada por el aumento del peso de las plantas y por la asignación en diferente proporción de la materia seca a los distintos órganos que la conforman. Andrade *et al.* (1996) consideran que la variación de peso entre los diferentes órganos durante el crecimiento de la planta, describe el comportamiento del proceso productivo en su conjunto y la partición de la materia seca entre dichos órganos, muestra la estrategia puesta en juego para determinar el número de estructuras reproductivas y el llenado efectivo de los órganos de cosecha.

Entre siembra y cosecha se desarrollan distintas fases que van concretando el crecimiento y el desarrollo de la planta adulta (Andrade *et al.*, 1996; Villalobos, 1998). Estos procesos se relacionan linealmente con la temperatura, por lo tanto, para cumplir con las distintas fases fenológicas y completar el ciclo, el cultivo responde a un rango térmico que

va desde una temperatura base mínima ( $T_b = 8^\circ \text{C}$ ) por debajo de la cual la velocidad de desarrollo es nula (Jones y Kiniry, 1986; Kiniry y Bonhomme, 1991), y una óptima ( $T_o = 34^\circ \text{C}$ ), donde alcanza la máxima velocidad de desarrollo. Por encima de ésta el desarrollo se reduce progresivamente hasta detenerse al alcanzar una temperatura máxima ( $T_M = 44^\circ \text{C}$ ) (Blacklow, 1972; Kiniry y Bonhomme, 1991). La suma térmica puede ser útil como criterio para predecir la madurez fisiológica (Andrade, 1992).

La duración de las etapas de desarrollo presentan gran variabilidad, dependiendo del genotipo y de las condiciones ambientales como temperatura, agua, luz y nutrientes entre otras. Un mismo híbrido presenta variaciones en sus fenofases cuando es cultivado en diferentes localidades e incluso cuando se comparan distintos años en la misma localidad (Cirilo, 1994).

El crecimiento del maíz en una región semiárida, depende de las precipitaciones y cuando éstas tienen una mala distribución, de los riegos que se aportan. Los requerimientos hídricos del cultivo son variables y se van incrementando progresivamente desde emergencia, llegando a un máximo de necesidades diarias durante la floración y principios de espigazón; de allí en adelante las necesidades hídricas van decreciendo gradualmente hasta llegar a madurez fisiológica (MF) (Nicosia y Martín (h), 1998).

En general, los materiales tienen buen comportamiento con precipitaciones de hasta 700 mm; por debajo de ello, conviene realizar riego complementario. En términos generales, requiere a lo largo de su ciclo, entre 600 y 800 mm de precipitación efectiva. Para ciertas condiciones y con materiales de alta performance, el riego complementario debería cubrir el déficit más las pérdidas de agua por escurrimiento, transporte y aplicación (totalizando 1.000 a 1.100 mm) (Nicosia y Martín (h), 1998).

El efecto de la sequía sobre la producción del cultivo, opera en gran parte a través de la disminución de la expansión del área foliar y la aceleración de la senescencia de las hojas. Esto implica que en condiciones de estrés hídrico se afecte la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en materia seca o tasa fotosintética por lo tanto la tasa de crecimiento del cultivo también se verá alterada (Andrade *et al.*, 1996). En consecuencia la producción del cultivo de maíz depende de la cantidad de agua disponible para evapotranspirar (Uhart y Andrade, 1998). Doorenbos y Pruitt (1977), mencionan que el maíz evapotranspira entre 400 y 700 mm en su ciclo, según condiciones ecológicas.

En Balcarce, cultivos regados y fertilizados alcanzaron entre 23.000 y 25.000 kg MS  $\text{ha}^{-1}$ , con un consumo de agua de 530 mm y una eficiencia de uso del agua de aproximadamente 44 kg MS  $\text{ha}^{-1}$  por mm de agua consumida (Andrade y Gardiol, 1995).

En Río Cuarto el consumo promedio de agua para todo el ciclo del cultivo de maíz, según balance hídrico, estuvo en el orden de los 575 mm con una producción promedio

de 32.800 kg MS ha<sup>-1</sup>, mientras que el que no recibió riego produjo 20.400 kg MS ha<sup>-1</sup> con sólo 300 mm de agua aportados por la precipitación (Rivetti, 2007).

## **HIPOTESIS**

Basándose en las investigaciones realizadas por otros autores y las estadísticas presentadas en diferentes zonas de nuestro país, se planteó como hipótesis de trabajo que el estrés hídrico durante el desarrollo del cultivo de maíz afectaría la producción de materia seca.

## **OBJETIVOS**

- ❖ Evaluar los efectos de diferentes programaciones de riego complementario sobre el rendimiento de materia seca aérea.
- ❖ Evaluar el efecto del riego sobre la fenología del cultivo.
- ❖ Determinar la eficiencia del uso de agua para cada tratamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, cuya ubicación geográfica es de 33° 07' S, 64° 14' W y su altura 421 m snm.

El área en estudio pertenece al Departamento de Río Cuarto el cual está conformado por cuatro grandes Unidades Ambientales, ubicándose Río Cuarto en la Llanura Subhúmeda bien drenada, con suelos de materiales loésicos, francos arenosos. La mayoría corresponde a Hapludoles típicos, caracterizándose por un relieve plano, con pendientes menores al 2% (Cantero *et al.*, 1998).

Para Río Cuarto, el clima es templado-subhúmedo, con una media anual de precipitaciones de 805,1 mm (serie 1977-2006) (Figura 1), concentrándose entre los meses de octubre y abril (Comunicación personal)<sup>1</sup>.

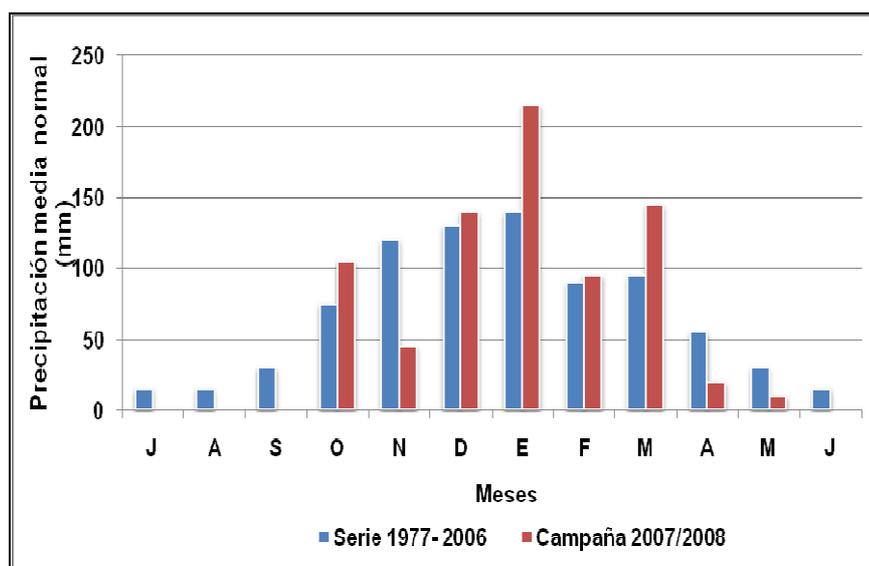


Figura 1: Precipitación normal mensual (serie 1977-2006) y total mensual de la campaña 2007-2008 (mm).

Se puede observar en la Figura 1 que las precipitaciones ocurridas durante la campaña 2007/2008, superan en la mayor parte del ciclo del cultivo a las precipitaciones normales de Río Cuarto.

<sup>1</sup> Comunicación personal: Ing. Víctor Rotondo, Agrometeorología, FAV – UNRC

El régimen térmico es templado-mesotermal, con valores medios anuales de 16,5°C, con máximas medias para el mes más cálido (enero) de 29°C y una mínima media de 3°C para el mes más frío (julio). El período libre de heladas es de 255,7 días, la fecha media de la primera helada es el 25 de mayo con una desviación estandar de  $\pm 14,3$  y de la última el 12 de septiembre, con una desviación estandar de  $\pm 20,3$  días. La intensidad del viento, factor importante en la evapotranspiración de los cultivos, oscila entre 2,8 m seg<sup>-1</sup> y 5,5 m seg<sup>-1</sup> (serie 1974-1993) (Seiler *et al.*, 1995).

Se realizó un análisis químico de suelo previo a la siembra (13 de agosto de 2007), muestreando en 5 puntos de la parcela con un barreno hasta el metro de profundidad a los fines de establecer los requerimientos de fertilización. Los resultados obtenidos se muestran a continuación (Tabla 1):

Tabla 1: Resultado del análisis químico (13 de agosto de 2007)

| Horizonte | Prof.  | P     | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | H°    | M.O. | pH   | CIC      |
|-----------|--------|-------|--------------------------------|------------------------------|-------|------|------|----------|
|           | Cm     | ppm   | ppm                            | ppm                          | %     | %    |      | Cmol/Kg. |
| Ap1       | 0-5    | 48,00 | 25,10                          | 111,19                       | 25,54 | 2,90 | 6,54 | 22,6     |
| Ap2       | 5-14   | 31,00 | 13,36                          | 59,18                        | 26,12 | 1,97 | 6,13 | 19,50    |
| Ad        | 14-22  | 26,25 | 12,97                          | 57,46                        | 24,79 | 1,96 | 6,17 | 17,80    |
| Bw1       | 22-35  | 25,00 | 10,21                          | 45,23                        | 21,61 | 1,75 | 6,29 | 21,00    |
| Bw2       | 35-49  | 25,10 | 10,65                          | 47,18                        | 18,40 | 0,98 | 6,86 | 16,50    |
| BC        | 49-66  | 14,00 | 7,88                           | 34,91                        | 15,90 | 0,65 | 7,81 | 14,80    |
| C         | 66-82  | 10,00 | 5,43                           | 24,05                        | 13,12 | 0,49 | 7,77 | 10,80    |
| Ck        | 82-100 | 7,60  | 4,32                           | 19,14                        | 13,50 | 0,38 | 8,09 | 10,20    |

Nota: P: fósforo; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrógeno de nitrato; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato H°: humedad; M.O.: materia orgánica; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Para el análisis físico, las muestras de suelo se obtuvieron de una calicata realizada en el lote de ensayo donde se pudieron determinar los parámetros edáficos relacionados con el agua del suelo y diferenciar ocho horizontes. Los resultados del muestreo se detallan a continuación (Tablas 2 y 3):

Tabla 2: Datos de la calicata.

| Horizontes | Profundidad | Límites          | Estructura                                                |
|------------|-------------|------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Ap1</b> | 0 - 5 cm    | Abrupto, suave   | Bloques subangulares, finos, moderados                    |
| <b>Ap2</b> | 5 - 14 cm   | Abrupto, suave   | Bloques subangulares, gruesos, moderados a fuertes        |
| <b>Ad</b>  | 14 - 22 cm  | Abrupto, suave   | Bloques angulares, medios, moderados                      |
| <b>Bw1</b> | 22 - 35 cm  | Claro, suave     | Bloques subangulares, medios, moderados                   |
| <b>Bw2</b> | 35 - 49 cm  | Claro, suave     | Bloques subangulares, medios a finos, moderados a débiles |
| <b>BC</b>  | 49 - 66 cm  | Claro, suave     | Bloques subangulares, finos, moderados a débiles          |
| <b>C</b>   | 66 - 82 cm  | Gradual, suave   | Bloques subangulares, finos, débiles                      |
| <b>Ck</b>  | 82 cm a más | Difuso, ondulado | Masivo                                                    |

Tabla 3: Parámetros físicos del suelo

| Horizontes | Densidad Aparente (PEA) g.cm <sup>-3</sup> | Humedad a Cap. de Campo (g.g <sup>-1</sup> ) | Humedad en Punto de Marchitez (g.g <sup>-1</sup> ) | Lámina en Wc (mm) | Lámina en Wm (mm) |
|------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Ap1</b> | 1,3                                        | 21,53                                        | 9,33                                               | 13,99             | 6,06              |
| <b>Ap2</b> | 1,32                                       | 20,23                                        | 8,97                                               | 24,03             | 10,66             |
| <b>Ad</b>  | 1,4                                        | 19,05                                        | 9,15                                               | 21,34             | 10,25             |
| <b>Bw1</b> | 1,39                                       | 19,7                                         | 9,14                                               | 35,6              | 16,52             |
| <b>Bw2</b> | 1,28                                       | 18,15                                        | 9,09                                               | 32,54             | 16,29             |
| <b>BC</b>  | 1,3                                        | 16,77                                        | 8,21                                               | 37,06             | 18,14             |
| <b>C</b>   | 1,29                                       | 16,52                                        | 7,42                                               | 34,1              | 15,31             |
| <b>Ck</b>  | 1,3                                        | 16,65                                        | 7,48                                               | 38,96             | 17,5              |
|            |                                            |                                              |                                                    | 237,63            | 110,73            |

AU (Agua útil)= 129.9 mm

Nota: PEA: peso específico aparente; Wc: capacidad de campo; Wm: Punto de marchitez permanente.

La siembra del cultivo se efectuó el 7 de Diciembre de 2007<sup>2</sup>, con una densidad de 95.000 plantas ha<sup>-1</sup> y con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m, utilizando el híbrido AX 884 CL de NIDERA.

<sup>2</sup> El retraso de la fecha de siembra prevista para los primeros días de Octubre se debió a problemas técnicos en el equipo de riego.

El diseño experimental empleado fue de franjas en bloques con dos factores:

- Factor 1: Riego con 5 niveles.
- Factor 2: Fertilización con 2 niveles.

Se realizaron 5 repeticiones (Bloques) para cada tratamiento.

Las parcelas experimentales tenían una dimensión de 15 m de ancho por 10 m de largo, similar al diseño que se presenta a continuación (Figura 2):

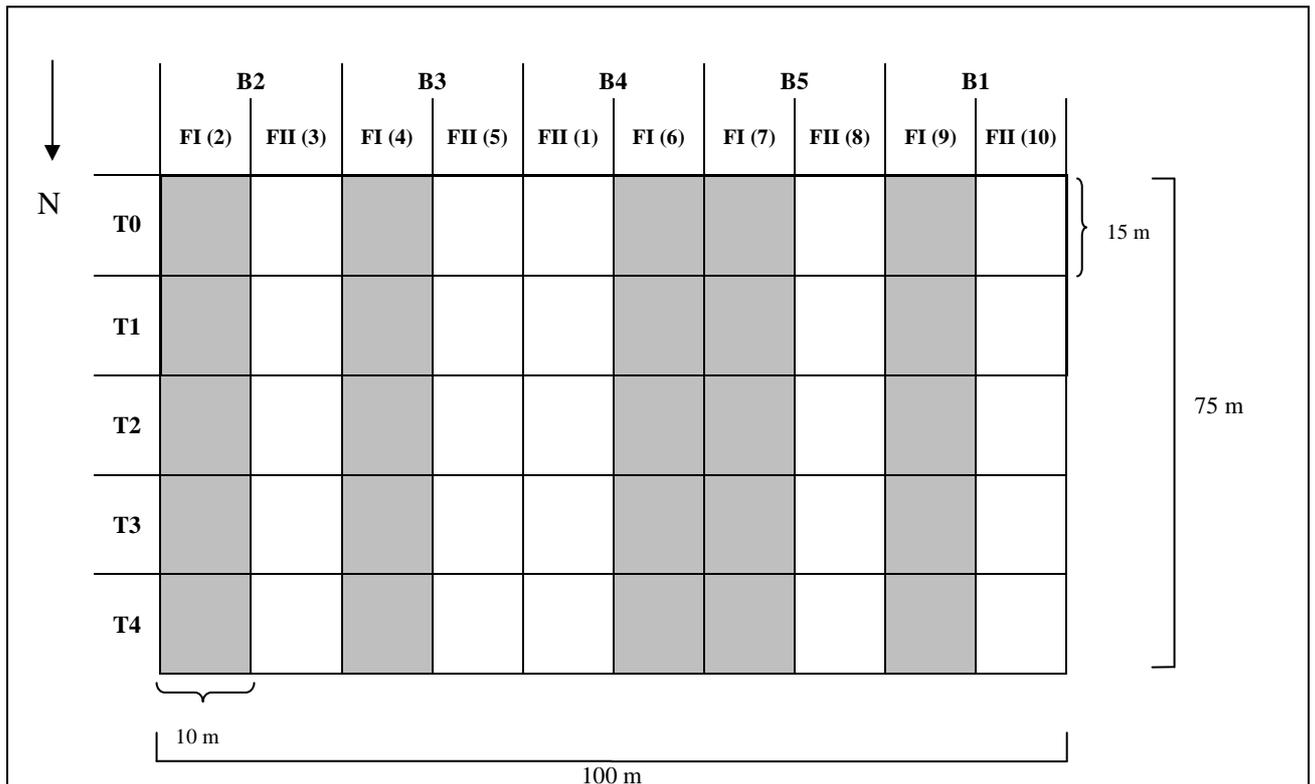


Figura 2: Diseño de la parcela.

Los tratamientos de riego fueron los siguientes:

**T0** partiendo de capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo, efectuándose la reposición cuando se consumieron 25 mm.

**T1** Partiendo desde capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo, aplicando la lámina necesaria para llevar la humedad del suelo a capacidad de campo cuando se consumieron 25 mm, siempre y cuando en el pronóstico extendido de 72 horas brindado por el Servicio Meteorológico Nacional no indicaba lluvias. En caso de no ocurrencia se aplicó la lámina correspondiente.

**T2** Partiendo desde capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo con una lámina de 25 mm, cada vez que se alcanzó el umbral de riego correspondiente. Salvo que el pronóstico prevea precipitaciones.

**T3** El riego se realizó considerando tres fases (Fase 1 y 3: período precrítico y poscrítico, respectivamente y fase 2: período crítico). En la fase 1 y 3 se contempló un umbral de riego considerando un coeficiente de estrés  $K_s$  de 0,60, en la etapa 2, sin estrés ( $K_s = 1$ ). Al alcanzar el umbral establecido para cada fase se aplicó una lámina de 25 mm.

**T4** El riego se efectuó considerando un coeficiente de estrés  $K_s$  de 0,60, en todo el ciclo. Cada vez que se alcanzó el umbral establecido se aplicó una lámina de riego de 25 mm.

El umbral de riego considerado cuando se produce el agotamiento del agua realmente disponible, es una proporción ( $p$ ) del agua totalmente disponible, según la metodología brindada por FAO (Allen *et al.*, 1998).

Para maíz:

$$p = 0,55 + 0,04 (5 - ET_c)$$

Donde:

$p$  = proporción de agua totalmente disponible

$ET_c$  = evapotranspiración del cultivo (mm) ( $ET_c = ET_o \times K_c \times K_s$ )

$ET_o$  = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

$K_c$  = Coeficiente de cultivo

$K_s$  = Coeficiente de estrés

Para la determinación de la  $ET_o$  se utilizó la Ecuación de Penman- Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998)

Los tratamientos de fertilización fueron los siguientes:

**FI:** Fertilización nitrogenada completa en el estadio fenológico de 6 hojas (V6).

**FII:** Fertilización nitrogenada repartida en siembra y estadio V6.

La fertilización se realizó con urea (46% de N), aplicándola al voleo en forma manual. Dicho fertilizante se caracteriza por ser muy soluble y de alta higroscopicidad, lo que puede provocar pérdidas por volatilización si no es incorporado. En FI se aplicaron 300 kg ha<sup>-1</sup> y en FII se aplicó 100 kg ha<sup>-1</sup> a la siembra y 200 kg ha<sup>-1</sup> en el estadio V6.

En este trabajo se analizaron solo los tratamientos de riego T0 y T4, y ambos tratamientos de fertilización.

El riego se realizó con un equipo de avance lateral de 87,6 m de longitud de trabajo, con sistema de distribución del agua con tuberías de bajada y emisión mediante difusores con reguladores de presión. El agua es de muy buena calidad para riego, clasificada según U.S. Salinity Laboratory como C2-S1, analizada por el Departamento de Geología

UNRC (1996), la cual es provista por una perforación. La Tabla 4 muestra el resultado del análisis físico-químico del agua de riego.

Tabla 4: Análisis físico - químico de agua. Dpto. de Geología UNRC (1996).

|                                                                                                                                                         |             |                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------|
| Color: Incoloro                                                                                                                                         |             |                                  |
| Olor: Inodoro                                                                                                                                           |             |                                  |
| pH: 7,84                                                                                                                                                |             |                                  |
| Conductividad a 25°C: 334 uS/cm                                                                                                                         |             |                                  |
| Sólidos disueltos totales: 234 mg/l                                                                                                                     |             |                                  |
| <b>Determinaciones básicas</b>                                                                                                                          |             |                                  |
| Carbonato:                                                                                                                                              | 0,00 mg/l   | 0,00 meq/l                       |
| Bicarbonato:                                                                                                                                            | 150,00 mg/l | 2,40 meq/l                       |
| Sulfato:                                                                                                                                                | 35,71 mg/l  | 0,75 meq/l                       |
| Cloruros:                                                                                                                                               | 10,36 mg/l  | 0,29 meq/l                       |
| Sodio:                                                                                                                                                  | 16,28 mg/l  | 0,70 meq/l                       |
| Potasio:                                                                                                                                                | 5,20 mg/l   | 0,13 meq/l                       |
| Calcio                                                                                                                                                  | 44,80 mg/l  | 2,24 meq/l                       |
| Magnesio:                                                                                                                                               | 4,39 mg/l   | 0,36 meq/l                       |
| Nitrato:                                                                                                                                                | 10,00 mg/l  | 0,16 meq/l                       |
| Arsénico:                                                                                                                                               | 0,00 mg/l   | 0,00 meq/l                       |
| Fluoruros:                                                                                                                                              | 0,36 mg/l   | 0,02 meq/l                       |
| <b>Determinaciones complementarias</b>                                                                                                                  |             |                                  |
| Dureza total:                                                                                                                                           | 2.60 meq/l  | 130.29 ppm de CO <sub>3</sub> Ca |
| Alcalinidad TAC:                                                                                                                                        | 2.40 meq/l  | 120.00 ppm de CO <sub>3</sub> Ca |
| RAS:                                                                                                                                                    | 0.61        |                                  |
| CSR:                                                                                                                                                    | -0,20 meq/l |                                  |
| OBSERVACIONES: Agua dulce y dura. Apta para el consumo humano. Excelente tanto para bovinos de carne y de leche y para ovinos. Buena para riego (C2S1). |             |                                  |

La determinación del momento de riego se realizó mediante un balance del agua en el suelo, regando cuando el mismo indicaba el nivel de agotamiento permisible, aportándose la cantidad de agua que establecían los distintos tratamientos.

La información climática necesaria se obtuvo de la Estación Agrometeorológica del Servicio de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC, instalada en el lugar del ensayo.

Las observaciones fenológicas, siguiendo la clave de Ritchie y Hanway, (1997) se realizaron cada siete días sobre 10 plantas seleccionadas en cada parcela al inicio del ciclo del cultivo, considerando el estadio específico cuando alcanzaban el 50% o más de las plantas y se tomó como hoja verdadera cuando la misma estaba totalmente desplegada dejando visible la lígula.

La variable respuesta a evaluar fue la producción de materia seca en cuatro momentos del desarrollo del cultivo, V6, R1, R4 y R6 (Ritchie y Hanway, 1997) tomándose una muestra de 1 m<sup>2</sup> en cada parcela. En cada muestra se extrajeron 3 plantas representativas y se separaron en láminas, vainas, tallos, panojas, espigas (marlo + grano + chala), secándolo

a estufa a 85°C hasta peso constante; el resto se secó y se pesó completo. Para la determinación del peso seco de cada órgano se calculó el porcentaje que cada uno de ellos representa sobre la alícuota, luego este porcentaje se aplicó al total de la muestra obteniéndose el peso de cada órgano.

La eficiencia de uso del agua (EUA) representa el rendimiento de materia seca por unidad de agua usada por el cultivo. Se utilizó, para su obtención, lo sugerido por Tanner y Sinclair (1983) (citado en: Hatfield *et al.*, 2001), quienes resumieron las distintas formas que pueden ser usadas para caracterizar la EUA de la siguiente manera:

$$EUA = \frac{MS}{ETc}$$

Donde:

EUA: Eficiencia de uso del agua ( $\text{kg m}^{-3}$ )

MS: Producción de materia seca del cultivo ( $\text{kg m}^{-2}$ )

ETc: Evapotranspiración del cultivo (m)

Empleando el programa estadístico *Infostat* (Di Rienzo *et al.*, 2002) se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias, efectuándose previamente un estudio de normalidad de los datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron diferentes riegos complementarios según los tratamientos, con una lámina de 25 mm cada uno, totalizando 5 riegos en el tratamiento T0 (125 mm), y 1 riego en T4 (25 mm).

Las precipitaciones durante el período de evaluación fueron de 538,6 mm mientras que la evapotranspiración del cultivo fue de 461,3 mm para el tratamiento T4 y 484,7 mm para el tratamiento T0. La distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo se muestra a continuación en la Figura 3:

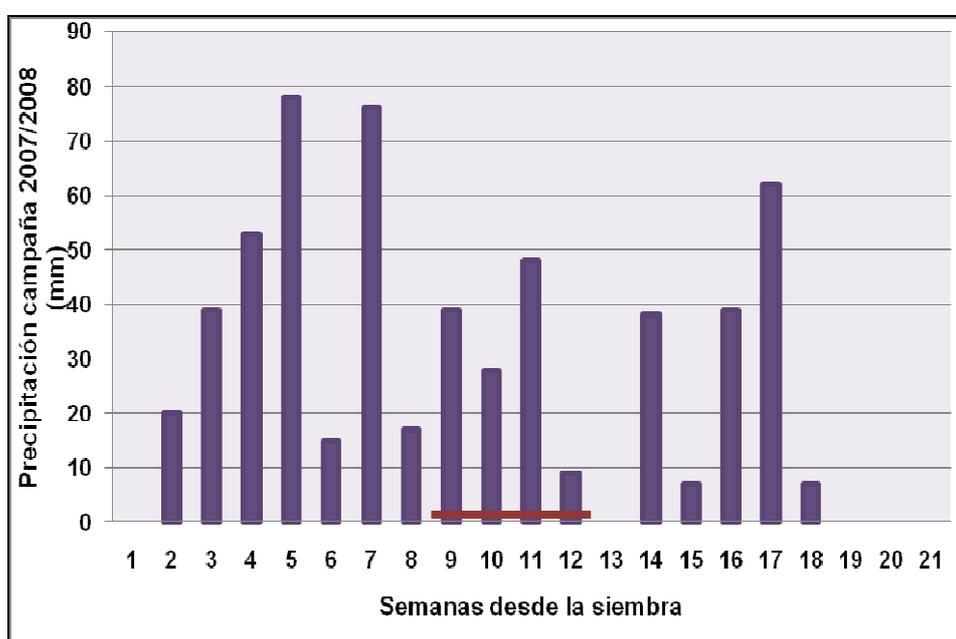


Figura 3: Precipitación semanal durante la campaña 2007/2008 (mm).

Nota: semana 1: siembra (S); semana 4: seis hojas (V6), línea roja en semanas 8 a 12: período crítico del cultivo; semana 21: madurez fisiológica (R6).

En la Figura 3 se puede observar que el cultivo tuvo buena provisión de agua durante su ciclo, incluyendo el período crítico de determinación de rendimiento (semanas 8 a la 12) y los momentos en que se realizó la fertilización nitrogenada para ambos tratamientos (semanas 1 y 4 para FII y semana 4 para FI).

En maíz, el número de granos es el componente que más influye en la determinación del rendimiento y es definido durante aproximadamente 30 días alrededor de la floración (i.e. período crítico de determinación del rendimiento). Las condiciones ambientales a las que se expone al cultivo durante este momento son críticas para asegurar una adecuada fijación de granos (Echarte *et al.*, 2002).

## Fenología del cultivo

El desarrollo fenológico del cultivo, desde siembra (S) a madurez fisiológica (R6), se cumplió en 126 días en todos los tratamientos.

Tabla 5: Fenología del cultivo

| Fecha      | T0      | T4      |
|------------|---------|---------|
|            | Estadio | Estadio |
| 07/12/2007 | S       | S       |
| 13/12/2007 | VE      | VE      |
| 27/12/2007 | V4      | V3      |
| 03/01/2008 | V5      | V4      |
| 09/01/2008 | V6      | V5      |
| 12/01/2008 | V7      | V6      |
| 17/01/2008 | V9      | V8      |
| 06/02/2008 | V17     | V17     |
| 09/02/2008 | VT      | VT      |
| 14/02/2008 | R1      | R1      |
| 22/02/2008 | R2-R3   | R2      |
| 28/02/2008 | R3      | R2-R3   |
| 06/03/2008 | R3      | R3      |
| 15/03/2008 | R4      | R4      |
| 28/03/2008 | R5      | R5      |
| 11/04/2008 | R6      | R6      |

Se puede observar en la Tabla 5 que si bien el ciclo de cultivo se cumplió en la misma cantidad de días para ambos tratamientos de riego, hubo retrasos en el tratamiento menos regado en el período vegetativo y reproductivo. Sin embargo estas diferencias no se manifestaron entre los tratamientos con fertilizantes. Rivetti (2004), también observó que el tratamiento sin riego mostró un retraso de 6 días en las fases reproductivas alcanzando madurez fisiológica en la misma cantidad de días. Por otra parte, Uhart y Andrade (1998) observaron demoras de alrededor de 9 días en los estadios vegetativos y 11 días en polinización en cultivos de maíz sin riego. Si bien se mencionan ciertos retrasos en las fases del cultivo, el ciclo se cumple en igual cantidad de días debido a que el tratamiento menos regado (T4), en esta campaña, tuvo buena provisión de agua por las lluvias (Figura 3).

## Acumulación de Materia Seca

La cantidad de materia seca producida aumenta progresivamente a medida que avanza el ciclo, coincidiendo con el aumento de las temperaturas a lo largo del mismo (Figura 4).

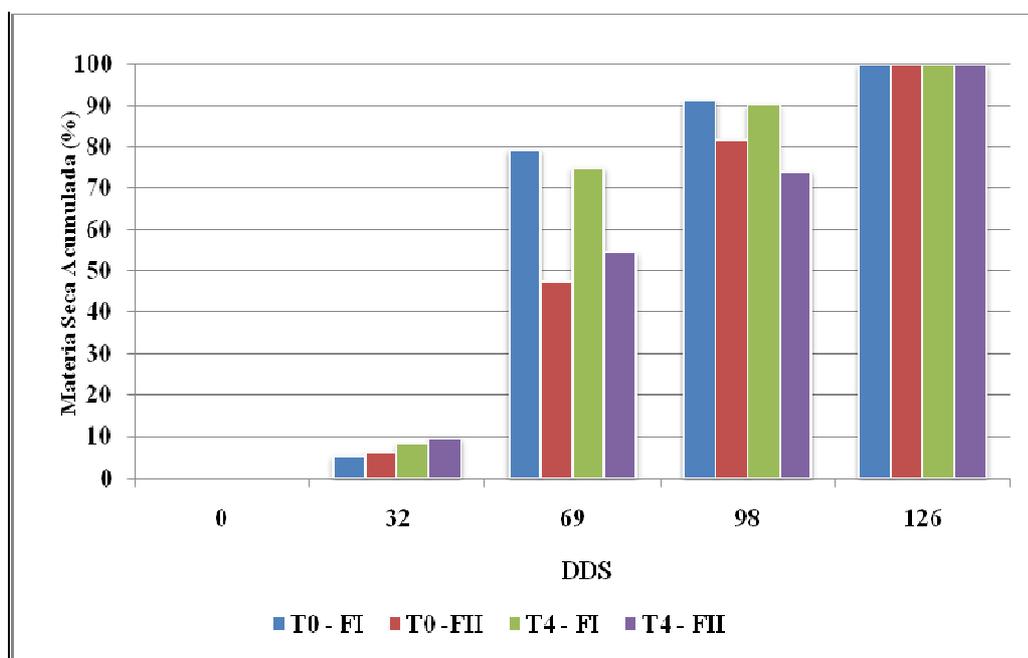


Figura 4: Porcentaje de MS acumulada en los tratamientos T0 y T4, desde siembra hasta madurez fisiológica

Nota: DDS: Días Después de la Siembra.

En la Figura 4 se observa que el cultivo acumuló a los 69 días (desde S a R1) 79,4 y el 47,3% de la materia seca total para los tratamientos T0-FI y T0-FII y el 75 y 54,4% para los tratamientos T4-FI y T4-FII respectivamente. Los datos utilizados para la construcción del gráfico de la Figura 4 se encuentran en el Anexo (Tabla 3).

La producción de materia seca acumulada en el estadio R1 mostró diferencias dentro del mismo tratamiento de riego con respecto a la aplicación de fertilizante. Para el T0 estas diferencias resultaron en una reducción en la biomasa aérea, con valores aproximados del 30,1 %, para el tratamiento FII respecto a FI. Valores similares se observaron para el tratamiento menos regado (T4), existiendo una discrepancia en estos valores cercanos al 30,7 % para los mismos tratamientos de fertilizante. El efecto del tratamiento fertilizante en la variable evaluada se podría explicar ya que el maíz comienza su mayor consumo de nitrógeno a partir de seis a ocho hojas completamente expandidas, por lo que antes de comenzada esta etapa fenológica, el cultivo debería disponer de una oferta de nitrógeno adecuada para satisfacer su demanda para el crecimiento (Satorre *et al.*, 2003).

Las deficiencias nutricionales durante el período vegetativo reducen el área foliar y la eficiencia de conversión de la radiación interceptada, por lo que la tasa de crecimiento del cultivo se reduce. Un déficit hídrico en etapas en las cuales los nutrientes son requeridos en altas cantidades por el cultivo, compromete la disponibilidad de nitrógeno para las plantas (Andrade *et al.*, 1996).

Delgado *et al.*, (2004) obtuvieron en un ensayo llevado a cabo en zona tropical, entre el 47% y 59% de la MS total producida durante los primeros 60 días del ciclo del cultivo y entre 88-100% se acumuló a los 90 días (para una duración total del ciclo del cultivo de 120 días) confirmando el efecto de la temperatura sobre el desarrollo del cultivo.

### **Producción de Materia Seca de la parte aérea del cultivo de maíz en los diferentes tratamientos.**

La materia seca total producida en los diferentes tratamientos y en sus respectivas etapas fenológicas, se muestran en el Tabla 6 y Figura 5.

Tabla 6: Producción de materia seca total (kg ha<sup>-1</sup>) para las distintas etapas fenológicas en cada tratamiento.

|          |              | Etapas fenológicas |         |         |         |
|----------|--------------|--------------------|---------|---------|---------|
| T. Riego | Fertilizante | V6                 | R1      | R4      | R6      |
| T0       | FI           | 1154,5             | 16718,6 | 19230,6 | 21060,4 |
|          | FII          | 1526,6             | 11683,8 | 20207,6 | 24697,5 |
| T4       | FI           | 1900,8             | 17189,6 | 20707,2 | 22907,4 |
|          | FII          | 2125,5             | 11919,0 | 16214,2 | 21897,5 |

Nota: los cálculos se realizaron en base al promedio de las 5 repeticiones de cada tratamiento.

El promedio del tratamiento más regado en R6 fue de 24697,5 kg de MS ha<sup>-1</sup>, superando en 12.8 % al T4 (21897,5 kg de MS ha<sup>-1</sup>) para el mismo tratamiento de fertilización. Esto podría explicarse ya que el cultivo con el tratamiento FII se encontró más favorecido en cuanto a la disponibilidad de nitrógeno en etapas más tempranas por la mejor condición hídrica. Sin embargo dichas diferencias no se manifestaron en el tratamiento FI (Figura 5).

Andrade *et al.*, (1996) encontraron en cultivos sin estrés hídrico y con adecuada provisión de nitrógeno en el estado de 6 hojas (V6), una producción de biomasa aérea total a cosecha (R6) entre 25.000 y 30.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Contreras *et al.*, (2004) obtuvieron un incremento del 54,7% en los tratamientos regados respecto al testigo sin riego; esto se debió a que las precipitaciones en ese ensayo fueron escasas, por lo tanto generaron estrés en el tratamiento testigo. Esto no ocurre con el presente trabajo debido a que las precipitaciones fueron abundantes durante el ciclo del cultivo, por lo tanto no se manifestaron diferencias entre los tratamientos.

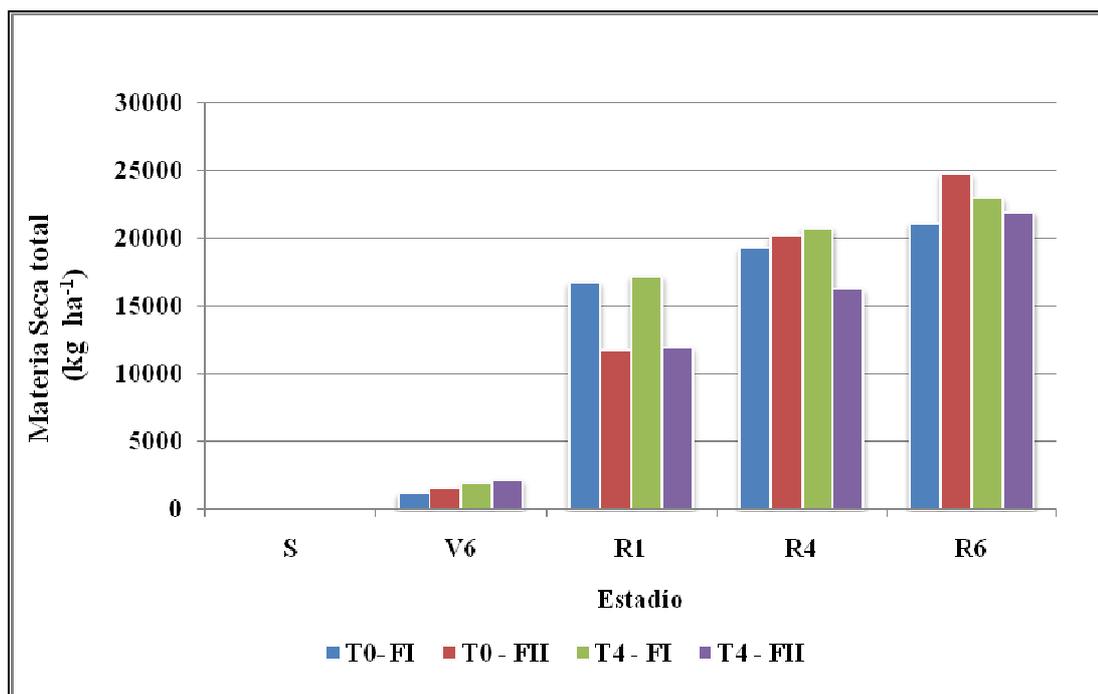


Figura 5: Producción de materia seca total

### Evolución de la materia seca en los distintos órganos de la planta

La evolución de la materia seca en el tiempo y en los distintos órganos de la planta se presenta en las Figuras 6, 7, 8 y 9. Los datos utilizados para su construcción se encuentran en el Anexo (Tablas 1 y 2).

El análisis estadístico para la producción de materia seca de tallos mostró diferencias significativas para la interacción riego-fertilizante, mientras que en espiga se manifestó dicha evidencia estadística solo en el tratamiento fertilizante. Sin embargo para los órganos hoja y panoja las variable medida no mostró diferencias estadísticamente significativa (Tablas 5, 6, 7 y 8 Anexo).

Durante los primeros días del ciclo del cultivo las tasas de crecimiento (es decir, las pendientes de las curvas) son bajas y la producción está orientada a generar tejidos foliares. Posteriormente, durante la etapa de encañazón, el crecimiento del tallo es el que aporta la mayor parte del aumento de peso total. A partir de la floración se detiene la producción de tejido foliar, el tallo continúa su incremento de peso durante un lapso de dos a tres semanas (debido a la acumulación de sustancias de reserva) y los órganos reproductivos entran en un acelerado proceso de crecimiento (Andrade y Sadras, 2002).

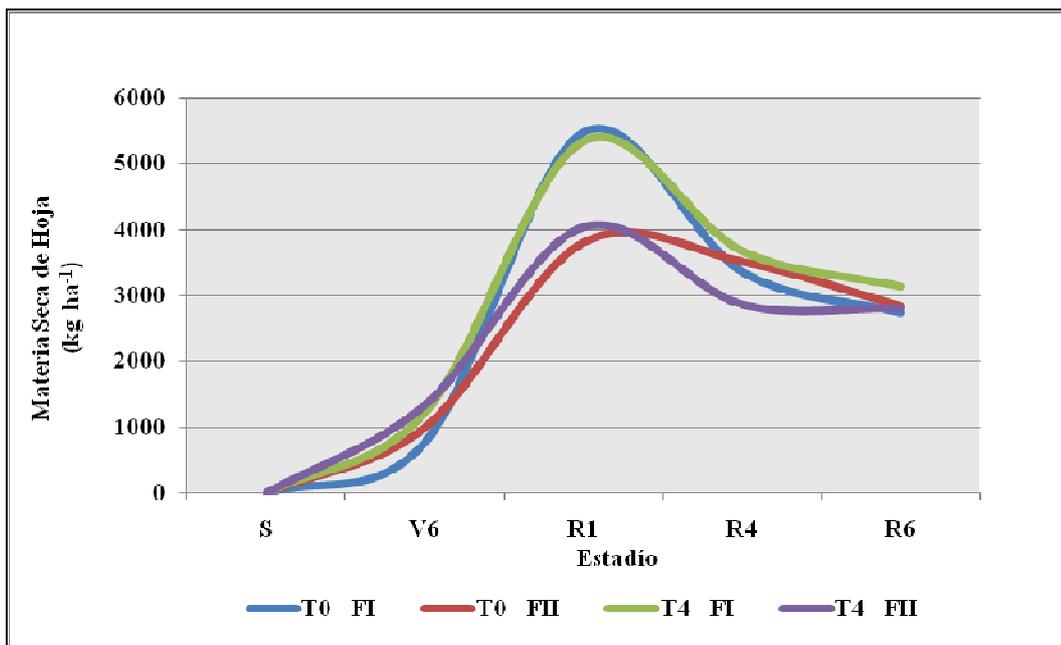


Figura 6: Producción de materia seca de hojas

Como se puede observar en la Figura 6, las hojas son las primeras en contribuir a la materia seca aérea total del cultivo, hasta estabilizarse en R1 (todas las hojas diferenciadas completamente desplegadas) y luego de esta etapa la materia seca de hojas comienza a disminuir debido a la senescencia del tejido foliar (Satorre *et al.*, 2003).

Para los tratamientos fertilizados completamente en el estadio V6 (T0-FI y T4-FI), se evidencia una mayor producción de materia seca de hojas respecto a FII, marcando una tendencia superior en cuanto a la variable evaluada. Esta tendencia también se manifiesta en las variables medidas en la Figura 7 y 8 que se muestran a continuación:

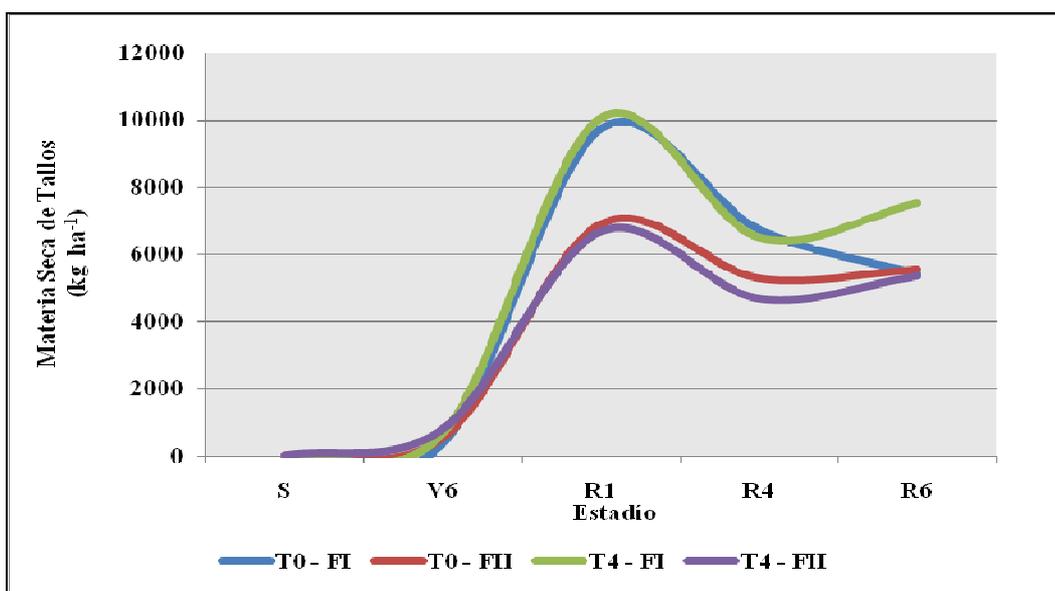


Figura 7: Producción de materia seca de tallos.

La producción de materia seca de los tallos comienza a hacerse notable en V6 (Figura 7) mostrando un crecimiento acelerado hasta llegar a R1, momento en el cual la planta alcanza su altura máxima (todos los entrenudos elongados), pero el tallo continúa su incremento de peso durante 2 a 3 semanas más por acumulación de sustancias de reserva, llegando a un máximo en R3 (Satorre *et al.*, 2003).

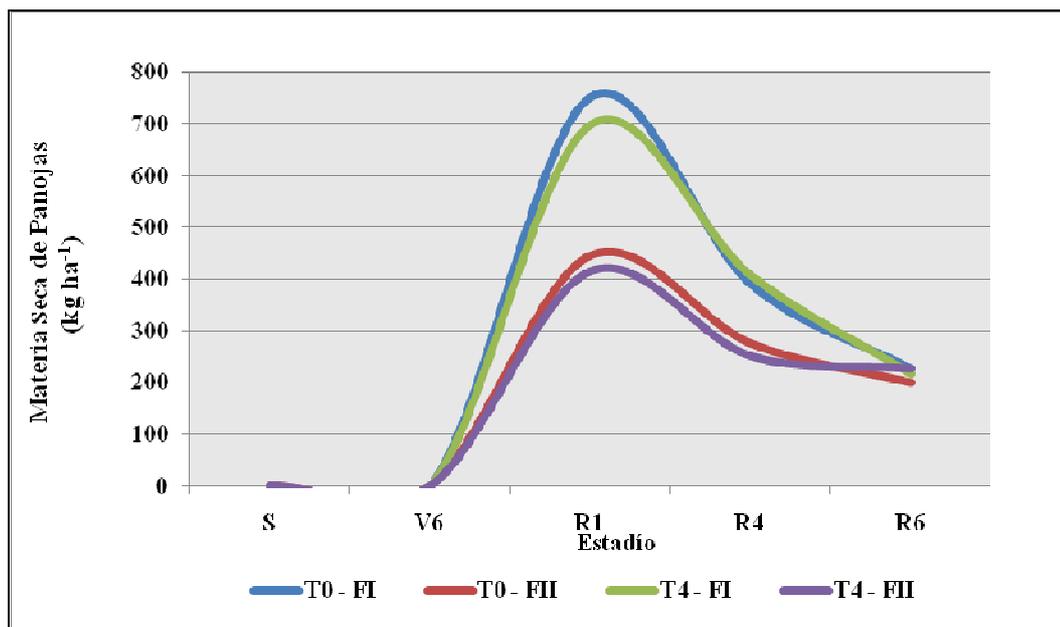


Figura 8: Producción de materia seca de panojas.

La máxima MS de la panoja ocurre en R1 (Figura 8); la misma comienza su crecimiento cuando el ápice deja de producir primordios foliares para pasar a diferenciar las espiguillas estaminadas alrededor de V4 – V6 (Satorre *et al.*, 2003), comenzando a aportar al peso de materia seca en el estado de ocho hojas (V8) porque el desarrollo y crecimiento visible de la panoja se muestra a partir de dicho estadio fenológico.

Desde R1 y hasta el final del ciclo el mayor aporte de materia seca es debido a la aparición de la espiga (grano+marlo+chala) (Figura 9), donde la misma representa aproximadamente el 62,7 y 57,1 % del total de materia seca en R6 en promedio para los tratamientos T0 y T4 respectivamente (Tabla 4 Anexo). Valores próximos al 80% fueron encontrados por Colmenárez y Omar (1996) en Venezuela.

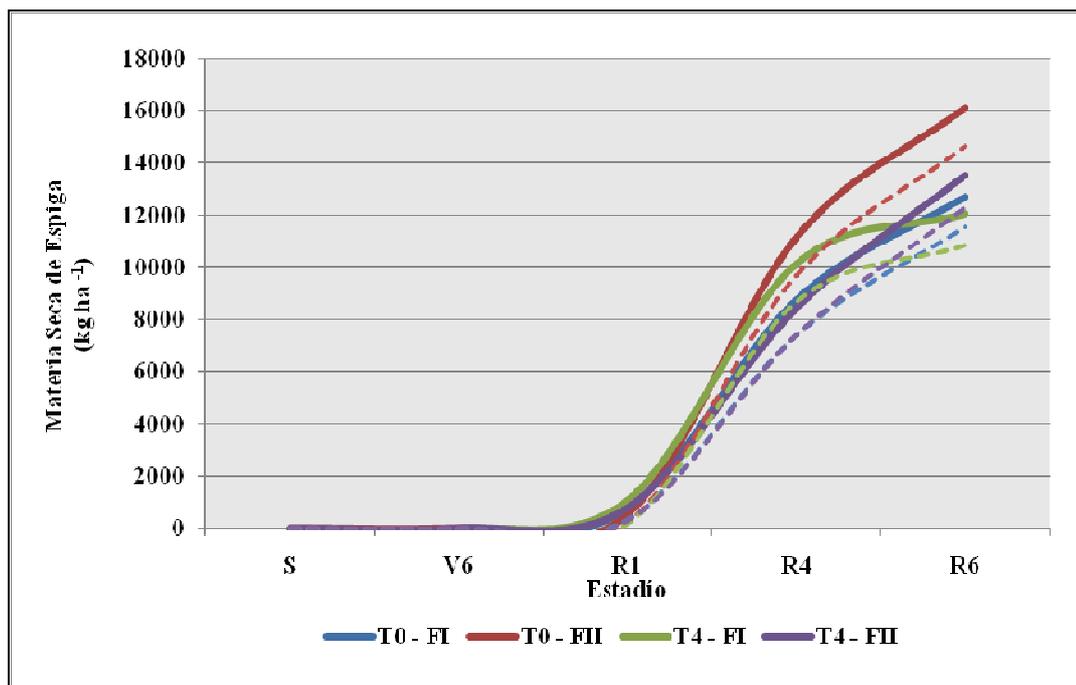


Figura 9: Producción de materia seca de espigas.

Nota: líneas punteadas corresponden a rendimiento del grano en  $\text{kg ha}^{-1}$  para cada tratamiento.

Luego de la fecundación comienza el llenado de los granos, que comprende tres fases. Durante la primera, la tasa de acumulación de materia seca en los granos es muy baja, pero tiene lugar una activa división celular. La segunda fase, llamada periodo efectivo de llenado o fase de crecimiento lineal (R3-R4), presenta la máxima tasa de llenado, acumulándose más del 80% del peso seco final del grano. En la tercera etapa, la tasa de llenado disminuye progresivamente hasta hacerse nula y existe una activa pérdida de humedad (Satorre *et al.*, 2003).

#### Análisis estadístico de la variable materia seca.

El análisis de varianza de la variable materia seca total en R6, no resultó significativo a un nivel del 5% ( $P > 0,05$ ) (Tabla 9 Anexo), indicando que no existe efecto del riego sobre la variable. Este resultado se debió a que el tratamiento con menor riego tuvo similar producción que el tratamiento regado por que la condición hídrica del cultivo no fue limitante, ya que las precipitaciones fueron abundantes durante todo el ciclo (540 mm de lluvia efectiva). Estos resultados difieren de los obtenidos por Rivetti (2004) y Contreras *et al.*, (2004) quienes obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos regados y sin riego.

Así mismo el análisis de varianza de la variable materia seca total en R6 con respecto al tratamiento de fertilización y la interacción de ambos tratamientos (riego-

fertilización) tampoco resultaron significativas, lo que indica que no existió un efecto sobre esta variable (Tabla 9 Anexo).

Se realizó un análisis descriptivo de la variable “materia seca total” . El diagrama de cajas que se presenta a continuación en la Figura 10 , tiene por objeto reflejar mejor la distribución de la variable en un mismo elemento gráfico brindando información acerca de la mediana, la media, cuartiles y mostrando la presencia de valores extremos (Di Rienzo *et al.*, 2002). Se puede observar que existen diferencias (variabilidad) entre ellos para los tratamientos más regados, mostrando mayor dispersión los datos en el tratamiento T0-FII. Esta variabilidad se manifiesta en menor medida para los tratamientos menos regados observándose menor longitud de caja en el gráfico.

Para el tratamiento T0-FII la mediana tiene un valor de 23.900,9 kg ha<sup>-1</sup>, siendo este próximo al promedio, lo que indica que el 50% de los datos se encuentran por debajo de dicho valor. Para el caso de tratamiento T4-FII la media y la mediana también tienen valores semejantes pero la variabilidad de sus datos es menor con respecto al T0-FII.

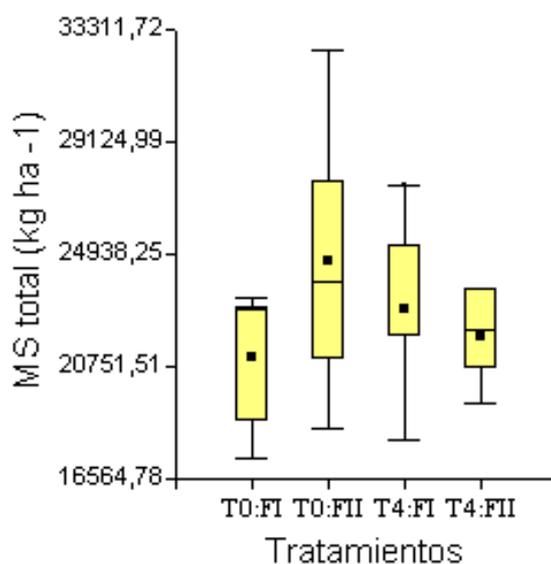


Figura 10: Diagrama de cajas de la variable materia seca total para los distintos tratamientos.

### **Eficiencia del Uso del Agua.**

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Eficiencia en el uso del agua (EUA), producción de materia seca (MS) y evapotranspiración del cultivo (ETc) para cada tratamiento de riego.

| <b>TRATAMIENTO</b> | <b>MS (kg ha<sup>-1</sup>)</b> | <b>Etc (mm)</b> | <b>EUA (kg m<sup>-3</sup>)</b> |
|--------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| <b>T0 - FI</b>     | <b>21060,4</b>                 | <b>465,92</b>   | <b>4,52</b>                    |
| <b>T0 - FII</b>    | <b>24697,5</b>                 | <b>465,92</b>   | <b>5,30</b>                    |
| <b>T4- FI</b>      | <b>22907,4</b>                 | <b>438,14</b>   | <b>5,23</b>                    |
| <b>T4 - FII</b>    | <b>21897,5</b>                 | <b>438,14</b>   | <b>5,00</b>                    |

La EUA del tratamiento más regado fue de 4,52 kg m<sup>-3</sup> y 5,30 kg m<sup>-3</sup> para los tratamientos de fertilización FI y FII correspondientemente; valores ubicados dentro del rango encontrado por diferentes autores, que obtuvieron 5,7 kg m<sup>-3</sup>, 3,1 kg m<sup>-3</sup> y 3,9 kg m<sup>-3</sup> (Rivetti, 2004, Tolk *et al.*, 1998 y Karam *et al.*, 2003) respectivamente. La EUA del tratamiento con menor riego fue de 5,23 kg.m<sup>-3</sup> para el tratamiento FI y 5,0 kg.m<sup>-3</sup> para el FII. Si comparamos los valores promedios de EUA entre los tratamientos de riego el T0 presentó un incremento con respecto al menos regado, siendo por lo tanto más eficiente en la producción de MS por mm de agua consumida.

El análisis estadístico indica que no hubo diferencia estadísticamente significativa para la EUA entre los diferentes tratamientos de riego y fertilizantes, como así tampoco para la interacción de ambos. (Tabla 10 Anexo). Sin embargo se puede observar que en promedio los tratamientos FII mostraron una mayor eficiencia que podría explicarse por que la fertilización nitrogenada repartida en los estadíos considerados tiene un efecto positivo en la TCC (Andrade *et al.*, 1996).

### **Balance hídrico.**

En la Tabla 8 se indican los diferentes riegos realizados, la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva ocurrida durante el ciclo del cultivo.

Tabla 8: Riegos aplicados (R), Precipitación efectiva y Evapotranspiración del cultivo (ETc).

| Semanas del ciclo | Precip. Efec. (mm) | T0     |     | T4     |    |
|-------------------|--------------------|--------|-----|--------|----|
|                   |                    | ETc    | R   | ETc    | R  |
| 1                 | 0                  | 23,13  |     | 23,13  |    |
| 2                 | 20                 | 22,10  |     | 22,10  |    |
| 3                 | 61,9               | 15,25  |     | 15,25  |    |
| 4                 | 22,5               | 21,49  |     | 21,49  |    |
| 5                 | 0                  | 24,31  | 25  | 24,31  |    |
| 6                 | 53                 | 29,40  |     | 29,40  |    |
| 7                 | 66,9               | 28,65  |     | 28,65  |    |
| 8                 | 89,1               | 23,72  |     | 23,72  |    |
| 9                 | 32,6               | 37,87  |     | 37,87  |    |
| 10                | 4                  | 38,45  | 25  | 38,45  |    |
| 11                | 43,7               | 34,51  |     | 34,51  |    |
| 12                | 7                  | 38,42  | 25  | 27,42  |    |
| 13                |                    | 30,92  | 25  | 18,55  | 25 |
| 14                | 32,6               | 24,31  |     | 24,31  |    |
| 15                | 7                  | 26,35  | 25  | 26,35  |    |
| 16                | 36,7               | 20,13  |     | 20,13  |    |
| 17                | 54,6               | 13,73  |     | 13,73  |    |
| 18                | 7                  | 15,76  |     | 15,76  |    |
| 19                |                    | 9,40   |     | 9,40   |    |
| 20                |                    | 6,77   |     | 6,77   |    |
| Total             | 538,6              | 484,68 | 125 | 461,31 | 25 |

La evolución del agotamiento del agua en el suelo, la ETc, las precipitaciones y los riegos efectuados durante el ciclo del cultivo para los distintos tratamientos, se observan en las Figuras 11 y 12.

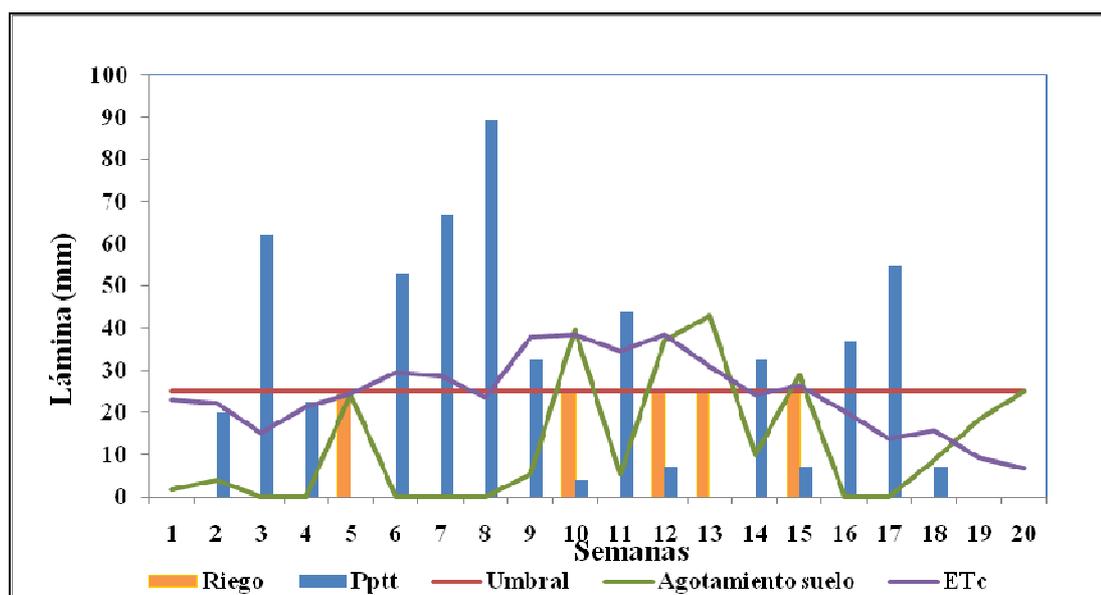


Figura 11: Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitaciones (Ppt) y riegos realizados para el tratamiento T0.

En la Figura 11, correspondiente al tratamiento T0, se regó cuando se consumían 25 mm del agua del suelo (umbral). Se puede observar que en las semanas 5, 10, 12, 13 y 15 el agotamiento del agua en el suelo alcanzó el umbral por lo que se realizaron los riegos correspondientes.

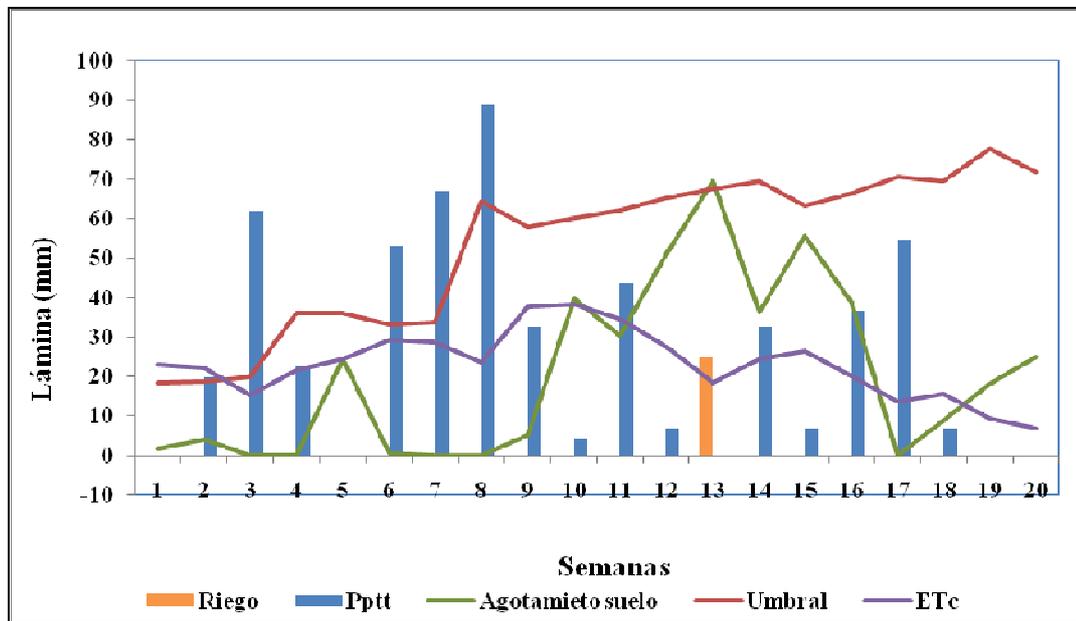


Figura 12: Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitaciones (Ppt) y riegos realizados para el tratamiento **T4**.

En la Figura 12 correspondiente al tratamiento T4, se regó durante todo el ciclo con una lámina de 25 mm cada vez que se alcanzó el umbral de riego correspondiente considerando un coeficiente de estrés  $K_s$  de 0,60. Se puede observar que el agotamiento del agua en el suelo superó el umbral en la semana 13 donde se realizó el riego correspondiente. Este umbral es variable en función de la profundidad de raíces y evapotranspiración del cultivo.

Los balances para cada tratamiento son presentados en el Anexo, Tabla 11 y 12.

## CONCLUSIONES

- ✓ El cultivo de maíz con buena provisión hídrica alcanza antes las etapas reproductivas, luego se estabiliza cumpliendo su ciclo en igual cantidad de días que el cultivo en seco.
- ✓ Los órganos de la planta que más influencia tienen sobre la producción de materia seca son, en orden de importancia, espiga, tallo y hoja.
- ✓ Independientemente de los resultados obtenidos en este ensayo, la aplicación de técnicas de riego genera un aumento en la producción de materia seca aérea con respecto a cultivos con menor disponibilidad hídrica.
- ✓ La eficiencia del uso del agua aumenta con la aplicación de técnicas combinadas de fertilización y riego.
- ✓ La aplicación de fertilización nitrogenada repartida entre la siembra y en el estadio V6, es una práctica recomendable en cultivos con buena provisión de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES y M. SMITH. 1998. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. FAO. Irrigation and drainage. Paper 56. Roma. 300pp.

ANDRADE, F.H. 1992. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. **Boletín Técnico 106**. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce. Buenos Aires.

ANDRADE, F., A. CIRILO, S. UHART y M. OTEGUI. 1996. **Ecofisiología del cultivo de maíz**. Ed. La Barrosa. Balcarce. Buenos Aires. 292 pp.

ANDRADE, F.H. y J. GARDIOL. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. **Bol Técnico 132**. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce. Buenos Aires.

ANDRADE, F.H. Y V.O. SADRAS. 2002. **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. Producciones Gráficas Sirio. EEA INTA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 443 pp. Capítulo 3. Pág. 61-91.

BARBIERI, P. A., H. R. SAÍNZ ROZAS, H. E. ECHEVERRÍA y F. H. ANDRADE. 2001. Reducción de la distancia entre hileras en maíz bajo siembra directa. En: [www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/maiz/sis/maizbajosiembr.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/maiz/sis/maizbajosiembr.htm). Consultado: 12/01/10.

BLACKLOW, W.M. 1972. Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). **Crop Science**, 12:647-650.

CANTERO A., M. P. CANTU, J. M. CISNEROS, J. J. CANTERO, M. BLARASIN, A. DEGIOANNI, J. GONZALEZ, V. BECERRA, H. GIL, J. DE PRADA, S. DEGIOVANNI, C. CHOLAKY, M. VILLEGAS, A. CABRERA y C. ERIC. 1998. **Las tierras y aguas del Sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable**. UNRC. 119 pp.

CIRILO, A.G. 1994. **Desarrollo, crecimiento y partición de materia seca en cultivos de maíz sembrados en diferentes fechas**. Tesis Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires. Argentina. 86 pp.

COLMENÁREZ G. y D. OMAR .1996. Efecto de densidades de población y dosis de nitrógeno en el comportamiento del Maíz (*Zea mays* L) en Yaritagua, estado Yaracuy. **III Jornadas Científicas del Maíz**. En: <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadas%20de%20maiz%20jornadas/colmenaresg.htm>. Consultado: 21/07/2009.

CONTRERAS, M., E. ZINI, y H. M. CURRIE. 2004 Los rendimientos del cultivo de maíz en dos sistemas de riego y algunos indicadores de productividad. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas. En: [www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-046.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-046.pdf). Consultado: 21-07-2009.

DELGADO R., U. M. C. NÚÑEZ, y L. VELÁSQUEZ. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de Nitrógeno, Fosforo y Potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada. **Agronomía Tropical** 54 (4) Maracy. En:<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0002192X2004000400002&lng=es&nrm=iso/> Consultado: 22/10/2008

DI RIENZO, J. A., M. BALZARINI, F. CASANOVES, L. GONZALEZ, M. TABLADA, y C. W. ROBLEDO. 2002. InfoStat/ Profesional versión 1.1. Cátedra de Estadística y Diseño. UNC.

DOORENBOS J. Y W.O. PRUITT. 1977. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Serie Riego y Drenaje N° 24. Roma. 194 pp.

ECHARTE L., L. MALENA y A. DELLA MAGGIORA. 2002. Caracterización agroclimática del período crítico del cultivo de maíz en Balcarce. Unidad Integrada Balcarce. Universidad Nacional de Mar del Plata-EEA INTA Balcarce. En <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/posters/36/Echarte1.htm>. Consultado 11/05/2010

HATFIELD, J. L., SAUER T. J., y J. H. PRUEGER. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. A review. **Agronomy Journal** 93: 271-280.

JONES, C.A. y J.R. KINIRY. 1986. CERES-maize. A simulation model of maize growth and development. **Texas A&M Univ. Press**, College Station.

KARAM, F., J. BREIDY, C. STEPHAN and J. ROUPHAEL. 2003. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekae Valley of Lebanon. **Agricultural Water Management**. 63:125-137.

KINIRY , J.R. y R. BONHOMME. 1991. **Predicting maize phenology**. En: T. Hodges (ed.) Predicting crop phenology. CRC.Press. Boca Raton, Ann Arbor. Boston. Pags. 115-131.

LORENZATTI, S. 2001. El cultivo de maíz en siembra directa. **AAPRESID**. En: <http://www.acampo.com>. Consultado 11/08/09

MAROZZI, D.G, G.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. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE.

NICOSIA, M.G. y G.O. MARTÍN (h). 1998. Cultivos: Producción de Maíz. Algunos aspectos relevantes (Parte III). Cátedra de Forrajes y Cereales. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. En: [www.tucuman.com](http://www.tucuman.com) . Consultado 13/10/09.

PALIWAL, R.L., G. GRAMEDOS, H.R. LAFITTE y A.D. VIOLIC. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Departamento de agricultura. FAO. Roma. En: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X7650S/x7650s03.htm>. Consultado: 21/07/09

RITCHIE, S.W. y J.J. HANWAY. 1997. How a corn plant develops. **Special Report N° 48**, Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, Ames, Iowa.

RIVETTI, A. R. 2004. **Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto – Córdoba – Argentina**. Tesis: Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 92 pags.

RIVETTI, A. R. 2007. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba. Argentina. II. Producción de materia seca. **Revista de la FCA UNCuyo**. Tomo XXXIX N° 1:29-39.

ROBUTTI, J. L. 2004. Calidad y usos del maíz. **Idia XXI** Año IV. N° 6: 100-104.

SALINAS, A., E. LOVERA, E. MARTELLOTO, J. GIUBERGIA, S. LINGUA, C. ALVAREZ y H. SALAS. 2006. Riego suplementario en la provincia de Córdoba. Situación actual. Área de Recursos Naturales y Agronomía E.E.A. Manfredi.

SATORRE, E. H., R. L. BENECH ARNOLD, G. A. SLAFER, E. B. DE LA FUENTE, D. J. MIRALLES, M. E. OTEGUI y R. SAVIN. 2003. **Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo**. Editorial Facultad de Agronomía universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Capítulos 8-18. Pág. 137-139-140-483-485.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DE LA NACIÓN (SAGPyA). 2007. Estimaciones Agrícolas. Buenos Aires. Argentina. En: [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar) . Consultado: 24/02/08.

SEILER R.A., R.A. FABRICIUS, V.H. ROTONDO y M.G. VINOCUR. 1995. **Agroclimatología de Río Cuarto – 1974/1993**. Vol I. FAV. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. 68 pp.

TOLK, J.A., T.A. HOWELL, and S.R. EVETT. 1998. Evapotranspiration and yield of corn grown on three high Plains soils. **Agronomy Journal**. 90:447-454.

UHART, S.A. y F.H. ANDRADE. 1998. **Efecto de la disponibilidad hídrica sobre el crecimiento y el rendimiento de maíz, girasol y soja**. EEA INTA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 8 pp.

VILLALOBOS, F. 1998. Crecimiento y desarrollo de los cultivos. Material inédito. **Fitotecnia General**. Universidad de Córdoba. Córdoba. España. 12 pp.

## ANEXO

Tabla 1: Producción de Materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) por órganos en los distintos estadios para el tratamiento T0 .

| T0      |       |        |      |        |      |         |       |        |      |         |      |
|---------|-------|--------|------|--------|------|---------|-------|--------|------|---------|------|
| ESTADIO | FERT. | HOJA   | C.V. | TALLO  | C.V. | ESPIGA  | C.V.  | PANOJA | C.V. | TOTAL   | C.V. |
| S       | FI    | 0,0    | 0,0  | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0  |
|         | FII   | 0,0    | 0,0  | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0  |
| V6      | FI    | 769,0  | 11,6 | 385,5  | 13,5 | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 1154,5  | 12,0 |
|         | FII   | 995,9  | 7,8  | 530,7  | 7,7  | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 1526,6  | 7,2  |
| R1      | FI    | 5474,5 | 11,1 | 9737,3 | 19,2 | 755,9   | 85,18 | 750,9  | 21,6 | 16718,6 | 14,1 |
|         | FII   | 3809,2 | 12,8 | 6904,2 | 9,8  | 525,4   | 21,7  | 445,0  | 16,7 | 11683,8 | 9,0  |
| R4      | FI    | 3353,8 | 17,9 | 6736,0 | 24,8 | 8750,2  | 13,13 | 390,6  | 26,9 | 19230,6 | 12,0 |
|         | FII   | 3516,2 | 6,4  | 5287,0 | 9,4  | 11129,1 | 19,9  | 275,3  | 10,4 | 20207,6 | 14,4 |
| R6      | FI    | 2735,5 | 23,0 | 5416,1 | 15,9 | 12681,9 | 17,2  | 226,9  | 22,4 | 21060,4 | 13,4 |
|         | FII   | 2840,3 | 22,5 | 5553,7 | 25,4 | 16104,0 | 21,8  | 199,5  | 29,7 | 24697,5 | 22,6 |

Tabla 2: Producción de Materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) por órganos en los distintos estadios para el tratamiento T4 .

| T4      |       |        |      |         |      |         |       |        |      |         |      |
|---------|-------|--------|------|---------|------|---------|-------|--------|------|---------|------|
| ESTADIO | FERT. | HOJA   | C.V. | TALLO   | C.V. | ESPIGA  | C.V.  | PANOJA | C.V. | TOTAL   | C.V. |
| S       | FI    | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0  | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0  |
|         | FII   | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0  | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 0,0     | 0,0  |
| V6      | FI    | 1223,7 | 11,1 | 677,0   | 8,3  | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 1900,8  | 10,0 |
|         | FII   | 1336,1 | 12,8 | 789,4   | 13,9 | 0,0     | 0,0   | 0,0    | 0,0  | 2125,5  | 13,0 |
| R1      | FI    | 5346,1 | 15,1 | 10058,9 | 18,7 | 1087,2  | 36,92 | 697,4  | 25,5 | 17189,6 | 17,2 |
|         | FII   | 4045,5 | 7,9  | 6674,2  | 16,7 | 783,5   | 30,8  | 415,9  | 16,5 | 11919,0 | 13,4 |
| R4      | FI    | 3675,2 | 13,2 | 6499,2  | 15,3 | 10125,1 | 22,07 | 407,6  | 20,8 | 20707,2 | 16,1 |
|         | FII   | 2865,2 | 12,7 | 4667,3  | 21,0 | 8429,8  | 10,1  | 251,9  | 17,0 | 16214,2 | 9,9  |
| R6      | FI    | 3137,2 | 15,6 | 7519,9  | 19,4 | 12033,1 | 18,4  | 217,3  | 31,2 | 22907,4 | 15,8 |
|         | FII   | 2810,1 | 14,2 | 5345,3  | 11,8 | 13514,2 | 8,2   | 227,8  | 25,2 | 21897,5 | 8,6  |

Tabla 3: Acumulación de materia seca desde siembra hasta madurez fisiológica

| <b>T0</b>  |              |                           |          |
|------------|--------------|---------------------------|----------|
| <b>DDS</b> | <b>FERT.</b> | <b>kg ha<sup>-1</sup></b> | <b>%</b> |
| 0          | FI           | 0,0                       | 0        |
| 0          | FII          | 0,0                       | 0        |
| 32         | FI           | 1154,5                    | 5,5      |
| 32         | FII          | 1526,6                    | 6,2      |
| 69         | FI           | 16718,6                   | 79,4     |
| 69         | FII          | 11683,8                   | 47,3     |
| 98         | FI           | 19230,6                   | 91,3     |
| 98         | FII          | 20207,6                   | 81,8     |
| 126        | FI           | 21060,4                   | 100      |
| 126        | FII          | 24697,5                   | 100      |
| <b>T4</b>  |              |                           |          |
| <b>DDS</b> | <b>FERT.</b> | <b>kg ha<sup>-1</sup></b> | <b>%</b> |
| 0          | FI           | 0,0                       | 0,0      |
| 0          | FII          | 0,0                       | 0,0      |
| 32         | FI           | 1900,8                    | 8,3      |
| 32         | FII          | 2125,5                    | 9,7      |
| 69         | FI           | 17189,6                   | 75,0     |
| 69         | FII          | 11919,0                   | 54,4     |
| 98         | FI           | 20707,2                   | 90,4     |
| 98         | FII          | 16214,2                   | 74,0     |
| 126        | FI           | 22907,4                   | 100,0    |
| 126        | FII          | 21897,5                   | 100,0    |

Nota: DDS: días después de la siembra.

Tabla 4: Proporción de espiga sobre MS total durante el ciclo del cultivo.

| <b>TRATAMIENTO</b> | <b>ESTADIO</b> | <b>FERT</b> | <b>MS TOTAL</b> | <b>%ESPIGA</b> |            |
|--------------------|----------------|-------------|-----------------|----------------|------------|
| <b>T0</b>          | <b>V6</b>      | <b>FI</b>   | <b>1154,5</b>   | <b>0,0</b>     |            |
|                    |                | <b>FII</b>  | <b>1526,6</b>   | <b>0,0</b>     |            |
|                    | <b>R1</b>      | <b>FI</b>   | <b>16718,6</b>  | <b>4,5</b>     |            |
|                    |                | <b>FII</b>  | <b>11683,8</b>  | <b>4,5</b>     |            |
|                    | <b>R4</b>      | <b>FI</b>   | <b>19230,6</b>  | <b>45,5</b>    |            |
|                    |                | <b>FII</b>  | <b>20207,6</b>  | <b>55,1</b>    |            |
|                    | <b>R6</b>      | <b>FI</b>   | <b>21060,4</b>  | <b>60,2</b>    |            |
|                    |                | <b>FII</b>  | <b>24697,5</b>  | <b>65,2</b>    |            |
|                    | <b>T4</b>      | <b>V6</b>   | <b>FI</b>       | <b>1900,8</b>  | <b>0,0</b> |
|                    |                |             | <b>FII</b>      | <b>2125,5</b>  | <b>0,0</b> |
| <b>R1</b>          |                | <b>FI</b>   | <b>17189,6</b>  | <b>6,3</b>     |            |
|                    |                | <b>FII</b>  | <b>11919,0</b>  | <b>6,6</b>     |            |
| <b>R4</b>          |                | <b>FI</b>   | <b>20707,2</b>  | <b>48,9</b>    |            |
|                    |                | <b>FII</b>  | <b>16214,2</b>  | <b>52,0</b>    |            |
| <b>R6</b>          |                | <b>FI</b>   | <b>22907,4</b>  | <b>52,5</b>    |            |
|                    |                | <b>FII</b>  | <b>21897,5</b>  | <b>61,7</b>    |            |

**Tabla 5: Análisis de la varianza para materia seca de hoja**

| ESTADÍO | Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| R6      | HOJA     | 20 | 0,09           | 0,00              | 19,04 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.       | SC         | gl | CM        | F    | p-valor |
|------------|------------|----|-----------|------|---------|
| Modelo     | 467364,01  | 3  | 155788,00 | 0,52 | 0,6761  |
| RIEGO      | 172552,46  | 1  | 172552,46 | 0,57 | 0,4599  |
| FERT       | 61682,72   | 1  | 61682,72  | 0,20 | 0,6568  |
| RIEGO*FERT | 233128,82  | 1  | 233128,82 | 0,77 | 0,3918  |
| Error      | 4815280,86 | 16 | 300955,05 |      |         |
| Total      | 5282644,88 | 19 |           |      |         |

**Tabla 6: Análisis de la varianza para materia seca de tallo**

| ESTADÍO | Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| R6      | TALLO    | 20 | 0,44           | 0,33              | 19,24 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.       | SC          | gl | CM         | F    | p-valor |
|------------|-------------|----|------------|------|---------|
| Modelo     | 16359897,37 | 3  | 5453299,12 | 4,15 | 0,0236  |
| RIEGO      | 4490771,22  | 1  | 4490771,22 | 3,42 | 0,0830  |
| FERT       | 5186405,70  | 1  | 5186405,70 | 3,95 | 0,0643  |
| RIEGO*FERT | 6682720,44  | 1  | 6682720,44 | 5,09 | 0,0385  |
| Error      | 21019721,04 | 16 | 1313732,57 |      |         |
| Total      | 37379618,41 | 19 |            |      |         |

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=1086,63856**

Error: 1313732,5652 gl: 16

| RIEGO Medias | n       |      |
|--------------|---------|------|
| T0           | 5484,89 | 10 A |
| T4           | 6432,60 | 10 A |

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

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=1086,63856**

Error: 1313732,5652 gl: 16

| FERT Medias | n       |      |
|-------------|---------|------|
| F2          | 5449,51 | 10 A |
| F1          | 6467,98 | 10 A |

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

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=2073,93127**

Error: 1313732,5652 gl: 16

| RIEGO FERT Medias | n       |   |     |
|-------------------|---------|---|-----|
| T4 F2             | 5345,32 | 5 | A   |
| T0 F1             | 5416,08 | 5 | A   |
| T0 F2             | 5553,70 | 5 | A B |
| T4 F1             | 7519,88 | 5 | B   |

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

**Tabla 7: Análisis de la varianza para materia seca de panoja**

| ESTADÍO | Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| R6      | PANOJA   | 20 | 0,04           | 0,00              | 27,11 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.       | SC       | gl | CM      | F    | p-valor |
|------------|----------|----|---------|------|---------|
| Modelo     | 2595,24  | 3  | 865,08  | 0,25 | 0,8616  |
| RIEGO      | 436,18   | 1  | 436,18  | 0,13 | 0,7283  |
| FERT       | 357,86   | 1  | 357,86  | 0,10 | 0,7529  |
| RIEGO*FERT | 1801,20  | 1  | 1801,20 | 0,52 | 0,4828  |
| Error      | 55816,46 | 16 | 3488,53 |      |         |
| Total      | 58411,70 | 19 |         |      |         |

**Tabla 8: Análisis de la varianza para materia seca de espiga**

| ESTADÍO | Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| R6      | ESPIGA   | 20 | 0,34           | 0,22              | 17,74 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.       | SC           | gl | CM          | F    | p-valor |
|------------|--------------|----|-------------|------|---------|
| Modelo     | 47871815,52  | 3  | 15957271,84 | 2,75 | 0,0770  |
| RIEGO      | 13110274,93  | 1  | 13110274,93 | 2,26 | 0,1524  |
| FERT       | 30052694,69  | 1  | 30052694,69 | 5,18 | 0,0370  |
| RIEGO*FERT | 4708845,90   | 1  | 4708845,90  | 0,81 | 0,3812  |
| Error      | 92896574,08  | 16 | 5806035,88  |      |         |
| Total      | 140768389,60 | 19 |             |      |         |

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=2284,39650**

Error: 5806035,8800 gl: 16

| RIEGO | Medias   | n  |   |
|-------|----------|----|---|
| T4    | 12773,65 | 10 | A |
| T0    | 14392,92 | 10 | A |

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

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=2284,39650**

Error: 5806035,8800 gl: 16

| FERT | Medias   | n  |   |
|------|----------|----|---|
| F1   | 12357,46 | 10 | A |
| F2   | 14809,10 | 10 | B |

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

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=4359,94222**

Error: 5806035,8800 gl: 16

| RIEGO | FERT | Medias   | n |   |
|-------|------|----------|---|---|
| T4    | F1   | 12033,05 | 5 | A |
| T0    | F1   | 12681,88 | 5 | A |
| T4    | F2   | 13514,24 | 5 | A |
| T0    | F2   | 16103,97 | 5 | A |

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

**Tabla 9: Análisis de la varianza para materia seca total**

| ESTADÍO | Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| R6      | MS TOTAL | 20 | 0,14           | 0,00              | 16,47 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.       | SC           | gl | CM          | F    | p-valor |
|------------|--------------|----|-------------|------|---------|
| Modelo     | 36755835,94  | 3  | 12251945,31 | 0,88 | 0,4716  |
| RIEGO      | 1135213,60   | 1  | 1135213,60  | 0,08 | 0,7787  |
| FERT       | 8627593,44   | 1  | 8627593,44  | 0,62 | 0,4423  |
| RIEGO*FERT | 26993028,90  | 1  | 26993028,90 | 1,94 | 0,1826  |
| Error      | 222440312,35 | 16 | 13902519,52 |      |         |
| Total      | 259196148,29 | 19 |             |      |         |

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=3534,91020**

Error: 13902519,5217 gl: 16

| RIEGO | Medias   | n  |   |
|-------|----------|----|---|
| T4    | 22402,45 | 10 | A |
| T0    | 22878,94 | 10 | A |

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

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=3534,91020**

Error: 13902519,5217 gl: 16

| FERT | Medias   | n  |   |
|------|----------|----|---|
| F1   | 21983,90 | 10 | A |
| F2   | 23297,49 | 10 | A |

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

**Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=6746,64149**

Error: 13902519,5217 gl: 16

| RIEGO | FERT | Medias   | n |   |
|-------|------|----------|---|---|
| T0    | F1   | 21060,40 | 5 | A |
| T4    | F2   | 21897,50 | 5 | A |
| T4    | F1   | 22907,40 | 5 | A |
| T0    | F2   | 24697,48 | 5 | A |

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

**Tabla 10: Análisis de la varianza para eficiencia en uso de agua**

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| EUA      | 20 | 0,15           | 0,00              | 16,28 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.       | SC    | gl | CM   | F    | p-valor |
|------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo     | 1,86  | 3  | 0,62 | 0,93 | 0,4479  |
| FERT       | 0,38  | 1  | 0,38 | 0,57 | 0,4618  |
| RIEGO      | 0,21  | 1  | 0,21 | 0,31 | 0,5864  |
| FERT*RIEGO | 1,28  | 1  | 1,28 | 1,92 | 0,1848  |
| Error      | 10,65 | 16 | 0,67 |      |         |
| Total      | 12,51 | 19 |      |      |         |

Tabla 11: Balance de agua semanal T0

| Sem | Eto   | RAW | Dri inicio | P-Esc        | R          | Ks | Kc   | Etc           | Pp    | Dri final | Agot. |
|-----|-------|-----|------------|--------------|------------|----|------|---------------|-------|-----------|-------|
| 1   | 50,29 | 25  |            | 0            |            | 1  | 0,46 | 23,13         |       | 1,86      | 1,86  |
| 2   | 48,05 | 25  | 1,86       | 20           |            | 1  | 0,46 | 22,10         |       | 3,96      | 3,96  |
| 3   | 33,15 | 25  | 3,96       | 61,9         |            | 1  | 0,46 | 15,25         | 42,69 | 0,00      | 0     |
| 4   | 44,77 | 25  | 0,00       | 22,5         |            | 1  | 0,48 | 21,49         | 1,01  | 0,00      | 0     |
| 5   | 41,21 | 25  | 0,00       | 0            | 25         | 1  | 0,59 | 24,31         | 0,68  | 0,00      | 24,32 |
| 6   | 40,83 | 25  | 0,00       | 53           |            | 1  | 0,72 | 29,40         | 23,61 | 0,00      | 0     |
| 7   | 34,11 | 25  | 0,00       | 66,9         |            | 1  | 0,84 | 28,65         | 38,24 | 0,00      | 0     |
| 8   | 25,23 | 25  | 0,00       | 89,1         |            | 1  | 0,94 | 23,72         | 65,39 | 0,00      | 0     |
| 9   | 35,73 | 25  | 0,00       | 32,6         |            | 1  | 1,06 | 37,87         |       | 5,28      | 5,28  |
| 10  | 34,95 | 25  | 5,28       | 4            | 25         | 1  | 1,1  | 38,45         |       | 14,72     | 39,72 |
| 11  | 31,37 | 25  | 14,72      | 43,7         |            | 1  | 1,1  | 34,51         |       | 5,53      | 5,53  |
| 12  | 34,93 | 25  | 5,53       | 7            | 25         | 1  | 1,1  | 38,42         |       | 11,95     | 36,95 |
| 13  | 28,11 | 25  | 11,95      | 0            | 25         | 1  | 1,1  | 30,92         |       | 17,87     | 42,87 |
| 14  | 22,1  | 25  | 17,87      | 32,6         |            | 1  | 1,1  | 24,31         |       | 9,58      | 9,85  |
| 15  | 24,63 | 25  | 9,58       | 7            | 25         | 1  | 1,07 | 26,35         |       | 3,94      | 28,94 |
| 16  | 20,75 | 25  | 3,94       | 36,7         |            | 1  | 0,97 | 20,13         | 12,64 | 0,00      | 0     |
| 17  | 15,6  | 25  | 0,00       | 54,6         |            | 1  | 0,88 | 13,73         | 40,87 | 0,00      | 0     |
| 18  | 20,2  | 25  | 0,00       | 7            |            | 1  | 0,78 | 15,76         |       | 8,76      | 8,76  |
| 19  | 13,63 | 25  | 8,76       | 0            |            | 1  | 0,69 | 9,40          |       | 18,16     | 18,16 |
| 20  | 11,1  | 25  | 18,16      | 0            |            | 1  | 0,61 | 6,77          |       | 24,93     | 24,93 |
|     |       |     |            | <b>538,6</b> | <b>125</b> |    |      | <b>484,68</b> |       |           |       |

Nota: Eto: evapotranspiración del cultivo de referencia, RAW: agua realmente disponible, Dri inicio: lámina de agua al inicio de la semana i, Pe-Esc: precipitación efectiva menos escorrentía; R: riego, Ks: coeficiente de estrés, Kc: coeficiente del cultivo, Etc: evapotranspiración del cultivo, Pp: percolación profunda, Dri final: lámina de agua al final de la semana i. Agot.: agotamiento de agua del suelo.

Tabla 12: Balance de agua semanal T4

| Sem | Eto   | RAW   | Dri inicio | P-Esc        | R         | Ks  | Kc   | Etc           | Pp    | Dri final | Agot. |
|-----|-------|-------|------------|--------------|-----------|-----|------|---------------|-------|-----------|-------|
| 1   | 50,29 | 18,36 |            | 0            |           | 1   | 0,46 | 23,13         |       | 1,86      | 1,86  |
| 2   | 48,05 | 18,66 | 1,86       | 20           |           | 1   | 0,46 | 22,10         |       | 3,96      | 3,96  |
| 3   | 33,15 | 19,85 | 3,96       | 61,9         |           | 1   | 0,46 | 15,25         | 42,69 | 0,00      | 0,00  |
| 4   | 44,77 | 36,09 | 0,00       | 22,5         |           | 1   | 0,48 | 21,49         | 1,01  | 0,00      | 0,00  |
| 5   | 41,21 | 36,09 | 0,00       | 0            |           | 1   | 0,59 | 24,31         |       | 24,32     | 24,32 |
| 6   | 40,83 | 33,22 | 24,32      | 53           |           | 1   | 0,72 | 29,40         |       | 0,71      | 0,71  |
| 7   | 34,11 | 33,8  | 0,71       | 66,9         |           | 1   | 0,84 | 28,65         | 37,53 | 0,00      | 0,00  |
| 8   | 25,23 | 64,31 | 0,00       | 89,1         |           | 1   | 0,94 | 23,72         | 65,39 | 0,00      | 0,00  |
| 9   | 35,73 | 57,99 | 0,00       | 32,6         |           | 1   | 1,06 | 37,87         |       | 5,28      | 5,28  |
| 10  | 34,95 | 60,1  | 5,28       | 4            |           | 1   | 1,1  | 38,45         |       | 39,72     | 39,72 |
| 11  | 31,37 | 62,2  | 39,72      | 43,7         |           | 1   | 1,1  | 34,51         |       | 30,53     | 30,53 |
| 12  | 24,93 | 65,37 | 30,53      | 7            |           | 1   | 1,1  | 27,42         |       | 50,95     | 50,95 |
| 13  | 28,11 | 67,48 | 50,95      | 0            | 25        | 0,6 | 1,1  | 18,55         |       | 44,50     | 69,50 |
| 14  | 22,1  | 69,58 | 44,50      | 32,6         |           | 1   | 1,1  | 24,31         |       | 36,21     | 36,21 |
| 15  | 24,63 | 63,26 | 36,21      | 7            |           | 1   | 1,07 | 26,35         |       | 55,57     | 55,57 |
| 16  | 20,75 | 66,42 | 55,57      | 36,7         |           | 1   | 0,97 | 20,13         |       | 38,99     | 38,99 |
| 17  | 15,6  | 70,64 | 38,99      | 54,6         |           | 1   | 0,88 | 13,73         | 1,88  | 0,00      | 0,00  |
| 18  | 20,2  | 69,58 | 0,00       | 7            |           | 1   | 0,78 | 15,76         |       | 8,76      | 8,76  |
| 19  | 13,63 | 77,8  | 8,76       | 0            |           | 1   | 0,69 | 9,40          |       | 18,16     | 18,16 |
| 20  | 11,1  | 71,69 | 18,16      | 0            |           | 1   | 0,61 | 6,77          |       | 24,93     | 24,93 |
|     |       |       |            | <b>538,6</b> | <b>25</b> |     |      | <b>461,61</b> |       |           |       |

Nota: Eto: evapotranspiración del cultivo de referencia, RAW: agua realmente disponible, Dri inicio: lámina de agua al inicio de la semana i, Pe-Esc: precipitación efectiva menos escorrentía; R: riego, Ks: coeficiente de estrés, Kc: coeficiente del cultivo, Etc: evapotranspiración del cultivo, Pp: percolación profunda, Dri final: lámina de agua al final de la semana i. Agot.: agotamiento de agua del suelo.