

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

“Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

**PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO DIFERENTES
PROGRAMACIONES DE RIEGO COMPLEMENTARIO Y
MOMENTOS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA**

Alumno: Sebastián Ariel Huerta

DNI: 29.880.798

Directora: Ing. Agr. M.Sc. Ana Rosa Rivetti

Río Cuarto - Córdoba - Argentina

Junio de 2011

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título Del Trabajo Final: PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO DIFERENTES PROGRAMACIONES DE RIEGO COMPLEMENTARIO Y MOMENTOS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Autor: HUERTA, SEBASTIÁN ARIEL

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 mi familia, que han hecho lo posible para que concluya esta etapa de mi vida exitosamente. A todas aquellas personas que formaron y forman parte de mi vida, ayudándome con el corazón en el cumplimiento de este sueño. A mi primo Fernando, que hoy no está entre nosotros. A los que confiaron.

AGRADECIMIENTOS

A los que colaboraron para que el sueño de terminar esta carrera se realizara con éxito. A Iván Ibáñez, por su valiosa y desinteresada colaboración en este trabajo. A mi directora de tesis, por toda su voluntad y entrega para poder concluir esta última etapa de mi carrera. A la Universidad Nacional de Río Cuarto y en especial a la Facultad de Agronomía y Veterinaria, por permitir llevar a cabo mis estudios y obtener mi Título en tan valiosa institución.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Certificado de Aprobación	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Índice	IV
Resumen	VIII
Abstract	IX
Introducción	1
Hipótesis	10
Objetivos	10
Materiales y Métodos	11
Resultados y Discusión	21
Conclusiones	73
Bibliografía	74
Anexo	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Precipitación normal mensual (serie 1978-2008) y total mensual de la campaña 2008/2009 (mm)	11
Figura 2: Diseño del ensayo	15
Figura 3: Precipitación semanal durante el ciclo del cultivo (mm)	21
Figura 4: Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (ETc), umbral de riego, precipitaciones efectivas (Pptt) y riegos realizados durante el ciclo del cultivo para los distintos niveles de riego, R0: A, R1: B, R2: C, R3: D, R4: E	24
Figura 5: Rendimiento promedio en grano (kg ha^{-1}) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	32
Figura 6: Diagramas de caja de rendimiento en granos (kg ha^{-1}) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	35

Figura 7: Número de granos m^{-2} en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	37
Figura 8: Diagramas de caja de número de granos m^{-2} en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	39
Figura 9: Número de hileras espiga ⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	41
Figura 10: Diagramas de caja de número de hileras espiga ⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	41
Figura 11: Número de granos hilera ⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	43
Figura 12: Diagramas de caja de número de granos hilera ⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	44
Figura 13: Número de granos espiga ⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	45
Figura 14: Diagramas de caja de número de granos espiga ⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	46
Figura 15: Peso promedio de los 1000 granos (g) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	48
Figura 16: Diagramas de caja de peso de los 1000 granos en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	49
Figura 17: Producción de materia seca total en R6 ($kg\ ha^{-1}$) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	53
Figura 18: Diagramas de caja de producción de materia seca total en R6 ($kg\ ha^{-1}$) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	53
Figura 19: Diagramas de caja de índice de cosecha en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	59
Figura 20: Diagramas de caja de EUAg en cada nivel de riego (a) y fertilización (b)	67
Figura 21: Diagramas de caja de EUAms en cada nivel de riego (a) y fertilización (b) ...	71

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Parámetros edáficos relacionados con el agua del suelo	12
Tabla 2: Datos de calicata	13
Tabla 3: Porcentaje de humedad (%) y lámina de agua (mm) previos a la siembra	14
Tabla 4: Análisis físico-químico de agua. Dpto. de Geología UNRC (1996)	18
Tabla 5: Evapotranspiración del cultivo (ETc), Riegos aplicados, Percolación y Precipitación efectiva	23

Tabla 6: Fenología del cultivo	29
Tabla 7: Rendimiento en grano y sus componentes	30
Tabla 8: Rendimiento en grano para cada nivel de riego y nivel de fertilización	31
Tabla 9: Rendimiento en grano para cada nivel de fertilización	31
Tabla 10: Número de granos m^{-2} para cada nivel de riego y nivel de fertilización	36
Tabla 11: Número de granos m^{-2} para cada nivel de fertilización	36
Tabla 12: Número de hileras espiga $^{-1}$ para cada nivel de riego y nivel de fertilización	40
Tabla 13: Número de hileras espiga $^{-1}$ para cada nivel de fertilización	40
Tabla 14: Número de granos hilera $^{-1}$ para cada nivel de riego y nivel de fertilización	42
Tabla 15: Número de granos hilera $^{-1}$ para cada nivel de fertilización	42
Tabla 16: Número de granos espiga $^{-1}$ para cada nivel de riego y nivel de fertilización	44
Tabla 17: Número de granos espiga $^{-1}$ para cada nivel de fertilización	45
Tabla 18: Peso de los 1000 granos (g) para cada nivel de riego y nivel de fertilización	47
Tabla 19: Peso de los 1000 granos (g) para cada nivel de fertilización	47
Tabla 20: Producción de materia seca aérea total en R6 ($kg\ ha^{-1}$) para cada nivel de riego y nivel de fertilización	52
Tabla 21: Producción de materia seca aérea total en R6 ($kg\ ha^{-1}$) para cada nivel de Fertilización	52
Tabla 22: Índice de cosecha del cultivo (%) para cada nivel de riego y nivel de Fertilización	58
Tabla 23: Índice de cosecha del cultivo (%) para cada nivel de fertilización	58
Tabla 24: EUAg ($g\ m^{-2}\ mm^{-1}$) promedio para cada nivel de riego	66
Tabla 25: EUAg ($g\ m^{-2}\ mm^{-1}$) promedio para cada nivel de fertilización	66
Tabla 26: EUAms ($g\ m^{-2}\ mm^{-1}$) promedio para cada nivel de riego	70
Tabla 27: EUAms ($g\ m^{-2}\ mm^{-1}$) promedio para cada nivel de fertilización	70

ANEXO

	Página
Tabla 1: Balance de agua semanal R0	81
Tabla 2: Balance de agua semanal R1	81
Tabla 3: Balance de agua semanal R2	82
Tabla 4: Balance de agua semanal R3	82
Tabla 5: Balance de agua semanal R4	83

Tabla 6: Análisis de la varianza y test de Tukey para rendimiento en granos	83
Tabla 7: Análisis de la varianza para número de granos m^{-2}	84
Tabla 8: Análisis de la varianza para número de hileras espiga ⁻¹	84
Tabla 9: Análisis de la varianza para número de granos hilera ⁻¹	85
Tabla 10: Análisis de la varianza para número de granos espiga ⁻¹	85
Tabla 11: Análisis de la varianza y test de Tukey para peso de los 1000 granos	85
Tabla 12: Análisis de la varianza y test de Tukey para producción de materia seca aérea total en R6	86
Tabla 13: Análisis de la varianza para índice de cosecha (IC)	86
Tabla 14: Análisis de la varianza y test de Tukey para EUAg	87
Tabla 15: Análisis de la varianza y test de Tukey para EUAms	87

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes programaciones de riego complementario y momentos de fertilización nitrogenada, sobre la producción de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.). La experiencia se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, en el ciclo 2008/2009, empleando un maíz híbrido NIDERA AX 884 CL. Se utilizó un diseño de franjas en bloques con dos factores: Riego y Fertilización. Los niveles de riego fueron: **R0**: Se regó durante todo el ciclo cuando se consumían 25 mm. **R1**: Se regó durante todo el ciclo cuando se consumían 25 mm, siempre y cuando el pronóstico extendido de 72 horas (Servicio Meteorológico Nacional) no indicaba lluvias. **R2**: Se regó con una lámina de 25 mm, cada vez que se alcanzaba el umbral correspondiente (agua realmente disponible), salvo que el pronóstico anunciara precipitaciones. **R3**: Se consideraron tres fases: desde siembra hasta 12 hojas, desde 12 hojas hasta principio de grano lechoso y desde grano lechoso hasta madurez fisiológica. En la primera y última se contempló un umbral de riego considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60 y en la central sin estrés ($K_s = 1$). Al alcanzarse el umbral se aplicó una lámina de 25 mm. **R4**: El riego se realizó considerando un K_s de 0.60, en todo el ciclo, alcanzado el umbral se aplicaba 25 mm. Los niveles de fertilización fueron: **F1**: Fertilización nitrogenada completa en el estadio de 6 hojas (V6) y **F2**: Fertilización nitrogenada repartida en siembra y en V6. Los momentos de riego se establecieron mediante un balance hídrico. Los rendimientos en grano con diferencia significativa fueron (kg ha^{-1}): R1: 14220,00 y R4: 12307,14 y entre F1: 12872,65 y F2: 13671,31. Para la producción de materia seca se obtuvo diferencia significativa entre F1: 29101 kg ha^{-1} y F2: 34957,75 kg ha^{-1} . El IC fue de 41,1 % en promedio. La EUA fue en promedio 2,13 $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ y 5,19 $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ para grano y materia seca, respectivamente.

Palabras claves: maíz, riego complementario, fertilización nitrogenada, rendimiento, materia seca aérea, índice de cosecha (IC), eficiencia de uso del agua (EUA).

ABSTRACT

In the present study was evaluated the effect of different complementary irrigation programs and nitrogenous fertilization moments on production of a crop corn (*Zea mays* L.). This project was carried out in the experimental field of the National University of Río Cuarto, during the 2008/2009 agricultural cycle, using a hybrid maize NIDERA AX 884 CL. A strip block design was used with two factors: Irrigation and Fertilization. The irrigation levels were: **R0:** Was irrigated during the whole cycle when was consumed 25 mm. **R1:** Was irrigated during the whole cycle when was consumed 25 mm, long as in the extended forecast of 72 hours (National Meteorological Service) was not indicated rain. **R2:** Was irrigated during the whole cycle with a 25 mm lamina, each time it reached the threshold of irrigation corresponding (readily available water), unless rain were forecasted. **R3:** Were considered three stages: since sowing until 12 leaves, since 12 leaves until early milky grain and since milky grain until physiological maturity. In the first and last was used an irrigation threshold considering a stress coefficient K_s of 0.60 and in the central without stress ($K_s = 1$). Upon reaching the threshold were applied a lamina of 25 mm. **R4:** Irrigation was carried out considering a K_s of 0.60 during the whole cycle. Each time was reached the established threshold was applied an irrigation lamina of 25 mm. The fertilizer levels were: **F1:** Nitrogenous fertilization complete on the stage of 6 leaves (V6) and **F2:** Distribution nitrogenous fertilization on sowing and V6. The irrigation moments were determined by a water balance. The average grain yields with significant differences were (kg ha^{-1}): R1: 14220,00 and R4: 12307,14 and between F1: 12872,65 and F2: 13671,31. For dry matter production was obtained significant difference between F1: 29101 kg ha^{-1} and F2: 34957,75 kg ha^{-1} . The IC was 41,1 % in average. The EUA was in average 2,13 $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ and 5,19 $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ for grain and dry matter, respectively.

Key words: corn, complementary irrigation, nitrogenous fertilization, yield, aerial dry matter, harvest index (IC), water use efficiency (EUA).

INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays* L., es una gramínea anual originaria de América, introducida en Europa en el siglo XVI. Su cultivo se expandió por América con anterioridad a la colonización europea. Hoy en día está muy difundido en todo el mundo. Su origen no está muy claro, pero según distintos hallazgos podría haberse originado hace unos 7000 años, probablemente en México, América Central o el sudoeste de los Estados Unidos de América (EEUU). La mutación, la selección natural y la selección masal hecha por los indios americanos, transformaron gradualmente al maíz salvaje en una planta domesticada de valor (Andrade *et al.*, 1996). Según Galinat (1988), el maíz deriva del teosinte y fue domesticado en un período comprendido entre 7000 a 10000 años atrás, en el sur de México.

El maíz es una especie que no se encuentra en estado silvestre, siendo los individuos de la misma incapaces de sobrevivir en condiciones naturales, por no poseer mecanismos adecuados para la dispersión de sus semillas, las que al germinar, por permanecer unidas al marlo (que es un producto de la domesticación) producen plantas que compiten severamente entre sí, lo que les impide producir nuevas semillas (Andrade *et al.*, 1996).

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. Hoy constituye un alimento básico en parte de América Central y Sudamérica, de África, del sudeste asiático y de China. En EEUU las comidas basadas en maíz se convirtieron en platos suplementarios en el menú y, actualmente, el consumo de copos y de otros productos alimenticios listos para comer, basados en maíz, es alto. Además, es una importante fuente de materia prima para producir almidón y derivados, como edulcorantes, jarabes, acetona, aceites, alcohol, entre otros (Andrade *et al.*, 1996 y Robutti, 2004).

Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo, superando al arroz y al trigo (FAO, 2011) y representa uno de los aportes más valiosos a la seguridad alimentaria mundial, que junto con el arroz y el trigo son considerados como las tres gramíneas más cultivadas en el mundo (Andrade *et al.*, 1996 y FAO, 2011).

A nivel internacional los principales productores de maíz son EEUU, China, la Unión Europea (27 países), Brasil, México, Argentina y la India, siendo EEUU el principal productor y exportador, participando en los últimos 10 años con aproximadamente el 40 % de la producción mundial y el 60 % de las exportaciones mundiales (MAGyP, 2011 y FAO, 2011).

En la campaña 2009/2010 la producción mundial de maíz fue de 812,4 millones de toneladas, 14 millones más que en la campaña anterior, registrándose la mayor producción en EEUU, con aproximadamente 332,5 millones de toneladas, 25,4 millones más que en la campaña anterior para este país. Para la campaña 2010/2011 se estima una producción mundial de 813,8 millones de toneladas, representando 1,4 millones más que en la última campaña, con 316 millones de producción en EEUU, 16,5 millones menos que en la última campaña (MAGyP, 2011).

Argentina es, a nivel mundial, el quinto país productor y el segundo exportador de maíz, siendo el mercado externo el principal destino de la producción de maíz en Argentina, con un promedio cercano al 70 % de la producción nacional destinada a exportaciones, en los últimos 10 años (MAGyP, 2011 y FAO, 2011).

El maíz es uno de los principales cultivos en nuestro país, representando en los últimos cuarenta años un promedio cercano al 15 % del área total sembrada de cereales y oleaginosas y el 25 % del área total de cereales, centrándose como zona núcleo de producción a la Pampa Húmeda, siendo las principales provincias productoras Buenos Aires, Córdoba, Santa Fé, Entre Ríos y La Pampa. En volúmenes de producción, el maíz ha representado en el último decenio, en promedio por campaña, alrededor del 48 % de la producción de cereales y del 22,5 % de la producción de cereales y oleaginosas, participando con aproximadamente el 22,2 % del total de la producción de granos y algodón, siendo el cereal con mayor volumen de producción por campaña y el segundo cultivo de grano con mayor producción en el país, luego de la soja (MAGyP, 2011).

El cultivo de maíz en la Argentina, en los últimos cuarenta años, cubrió una superficie promedio de 3,46 millones de hectáreas por campaña, con picos cercanos a los 5 millones a inicios de los años 70, con una producción promedio de aproximadamente 12 millones de toneladas. La superficie sembrada con el cultivo en los últimos diez años es muy similar, en promedio, con respecto al promedio de los últimos cuarenta años, con alrededor de 3,42 millones de hectáreas, mientras que la producción total por ciclo agrícola ha ido en aumento, con un promedio de 17,5 millones de toneladas en el último decenio. Este aumento en la producción se debió al aumento en los rendimientos por hectárea obtenidos en los últimos tiempos, pasando en el último decenio a algo más de $6,5 \text{ t ha}^{-1}$, en promedio por campaña, superior a las $5,4 \text{ t ha}^{-1}$ en promedio de los treinta años anteriores (MAGyP, 2011).

En la campaña 2009/2010 la producción de maíz en Argentina fue de 22,7 millones de toneladas, alrededor de un 30 % mayor al promedio de los últimos 10 años, de 17,5 millones de toneladas y representando 9,6 millones más que en la campaña anterior, en la que se registro una

producción de 13,1 millones, inferior, en aproximadamente 33 %, al promedio de los últimos 10 años (MAGyP, 2011).

Para la campaña 2010/2011 se estima una producción de alrededor de 20,9 millones de toneladas de maíz, resultando menor en aproximadamente un 8,5 % a la lograda en el ciclo agrícola anterior. La superficie sembrada con el cultivo en esta campaña ronda las 4,32 millones de hectáreas, con lo que el incremento en el área bajo cultivo, con relación al ciclo agrícola precedente, sería del 17,6 %. Las escasas o nulas precipitaciones acaecidas, tanto en la región núcleo maicera como en otras regiones productoras, durante la etapa de floración, crítica para el resultado final de este cereal, provocaron una situación de estrés hídrico en el cultivo, no resultando suficientes para la recuperación de estos maíces las precipitaciones que se registraron con posterioridad a la etapa señalada, las cuales solo beneficiaron a los lotes sembrados tardíamente y a los maíces de segunda. Por lo tanto, la caída señalada en la producción estimada para esta campaña, respecto a la campaña anterior, a pesar del aumento en el área sembrada, se debe a los menores rendimientos estimados para el cultivo en varias localidades del país, los cuales rondarían en un promedio nacional de 6 t ha^{-1} , inferior en aproximadamente un 30 % a las $7,8 \text{ t ha}^{-1}$, en promedio, del ciclo anterior (MAGyP, 2011).

La provincia de Córdoba, como se mencionó anteriormente, es una de las principales productoras de Argentina, con un promedio, en las últimas diez campañas, de más de 1 millón de hectáreas sembradas, una producción cercana a las 6,3 millones de toneladas y un rendimiento aproximado de 7144 kg ha^{-1} , por campaña. Los rendimientos promedios registrados en la campaña 2009/10 fueron de 8012 kg ha^{-1} , con un área sembrada próxima al millón de hectáreas y obteniendo una producción cercana a las 6,8 millones de toneladas (MAGyP, 2011).

Además de la importancia que tiene el cultivo de maíz en la República Argentina y en Córdoba, el Departamento de Río Cuarto ocupa un lugar preponderante en la provincia, con el 22 % del área total sembrada en la misma, representando algo más de 222 mil hectáreas por campaña, como promedio del último decenio (MAGyP, 2011).

La planta de maíz es muy eficiente en la producción de biomasa. De una semilla que pesa alrededor de 300 mg se obtiene, en un lapso de 2,5 meses, una planta de más de 2 metros de altura y de alrededor de 70 dm^2 de área foliar. A los 4,5 meses la planta puede alcanzar, en condiciones de cultivo, un peso seco 1000 veces superior al de la semilla que le dio origen. Alrededor de la mitad de ese peso corresponde a órganos reproductivos, lo que lo transforma en uno de los cultivos de mayor rendimiento en grano por unidad de superficie. El maíz supera ampliamente a otros cultivos, como por ejemplo el girasol y la soja, en producción total 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 ambientes con altas radiaciones y elevada amplitud térmica el maíz presenta muy buenos potenciales de rendimiento (Andrade *et al.*, 1996).

Las hojas del maíz se disponen en ángulos agudos con respecto a la vertical (canopia erectófila). Como consecuencia principalmente de la estructura foliar, el maíz posee coeficientes de extinción de la radiación más bajos comparados con otros cultivos como girasol y soja (canopia planófila), por lo que necesita más área foliar para interceptar una misma proporción de radiación incidente. Esto explica que el IAF crítico (índice de área foliar) para el maíz sea mayor que para otros cultivos (Arguissain, 1990). Dicha disposición de las hojas favorece a una distribución más pareja de la radiación en el perfil del canopeo, lo que posibilita una mayor eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa, con respecto a otros cultivos de canopias planófilas, ya que disminuye la saturación lumínica en estratos foliares superiores y aumenta la iluminación y, por ende, la fotosíntesis en los inferiores (Andrade y Sadras, 2002).

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 (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

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.

Su alto potencial de crecimiento y la sensibilidad del rendimiento reproductivo al estrés, hacen del maíz un cultivo de gran capacidad de respuesta biológica a un manejo adecuado, al riego y a la aplicación de fertilizantes y de insumos en general (Andrade *et al.*, 1996).

Entre siembra y cosecha se desarrollan distintas fases que van concretando el crecimiento y el desarrollo de la planta adulta (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003). Estos procesos se desarrollan 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 ($T_b = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$) por debajo de la cual la velocidad de desarrollo es nula (Jones y Kiniry, 1986 y Kiniry y Bonhomme, 1991), y una óptima ($T_o = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$), donde alcanza la máxima velocidad de desarrollo. Por encima de ésta el desarrollo se reduce progresivamente hasta detenerse al alcanzar una temperatura máxima ($T_M = 44\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Blacklow, 1972 y 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 presenta 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 riego es requerido cuando la lluvia es insuficiente para compensar la pérdida de agua por evapotranspiración (Salinas *et al.*, 2006). El objetivo primario del riego es aplicar la cantidad de agua adecuada en el momento oportuno. Mediante el cálculo del balance diario del agua en el suelo, en la zona de las raíces, pueden ser planificadas las láminas a aplicar y sus frecuencias. Para evitar el estrés, el riego debería ser aplicado antes de alcanzar el consumo del agua realmente disponible y para evitar las pérdidas por percolación, que pueden lixiviar nutrientes relevantes, la profundidad neta de riego deberá ser menor o igual a la zona ocupada por las raíces (Allen *et al.*, 1998). Apoyándose en un programa de riego, es posible ahorrar más del 20 % de agua, sin afectar significativamente los rendimientos (Buchleiter *et al.*, 1996).

La aplicación del riego complementario en diferentes zonas del mundo no sólo ha producido incrementos significativos de rendimientos, sino que también ofrece cierta estabilidad a la producción agropecuaria permitiendo disminuir la variabilidad interanual, siendo quizás la tecnología que puede provocar el mayor impacto productivo (Salinas *et al.*, 2006). Regionalmente se ha demostrado esta importancia en diferentes cultivos, entre ellos el de maíz (Puiatti *et al.*, 1985 y Rivetti, 2004).

El riego complementario es una técnica que produce un impacto significativo en la producción al potenciar los beneficios del resto de las prácticas tecnológicas implementadas. Esta práctica 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 no descarta, sino requiere, el uso adecuado de las demás medidas de manejo y no siempre resulta económicamente viable (Marozzi *et al.*, 2005).

La incorporación del sistema de riego trae aparejado un cambio en la forma de producir. Por lo tanto, resulta necesario tener en consideración varios factores antes de realizar una adopción apresurada de esta tecnología. Las condiciones que hacen factible el uso del riego en maíz son: disponibilidad de fuentes de agua naturales, topografía adecuada para la sistematización para riego por gravedad, manejo de épocas de siembra e híbridos para lograr reducir la demanda pico, sistemas de producción diversificados como lo son las rotaciones de cultivos y pasturas que permiten la utilización del riego en más cultivos (Marozzi *et al.*, 2005).

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

La provincia de Córdoba ha incrementado en los últimos años la superficie agrícola bajo riego suplementario. Este desarrollo se debió posiblemente, a la fuerte oferta de equipos de riego principalmente por aspersión (Pivot Central y avance frontal, enrolladores, etc) y en menor medida válvulas de caudal discontinuo y a la necesidad de intensificar los recursos productivos en zonas como la Región Semiárida Central, en donde las precipitaciones tienen un carácter fuertemente estacional y condicionan el alcance de rendimientos altos (Puiatti *et al.*, 2002 y Salinas *et al.*, 2007).

A partir del año 1993, comenzó una importante expansión del área bajo riego suplementario en cultivos extensivos en la provincia, superando en el año 2004 las 76800 ha, siendo el maíz el principal cultivo en el que se realiza esta práctica. Sin embargo, la sustentabilidad y difusión de sistemas bajo riego dependerá de la evolución del recurso suelo, productividad, rentabilidad y del mantenimiento del equilibrio dinámico de los acuíferos. En 1975 se comprobó el efecto negativo del uso de aguas subterráneas de dudosa calidad, sobre propiedades físicas y químicas del suelo (aumento del sodio intercambiable y disminución de la permeabilidad). Un aspecto fundamental para la sustentabilidad productiva de los suelos, es conservar y/o mejorar la aptitud física y química de los mismos en los planteos bajo riego suplementario (Salinas *et al.*, 2006).

En Córdoba, considerando aptitud de suelos y calidad de aguas, existe un área potencialmente regable superior al millón de hectáreas (Salinas *et al.*, 2006).

Los requerimientos hídricos del cultivo son variables en las diferentes etapas de su ciclo productivo. Estas necesidades van incrementándose progresivamente desde emergencia, llegando a un máximo de necesidades diarias durante la floración y principios de espigazón. De allí en adelante (fin de espigazón) las necesidades hídricas van decreciendo gradualmente hasta llegar a madurez fisiológica (Nicosia y Martin (h), 1998).

Gran parte del efecto de la sequía sobre la producción del cultivo opera a través de la disminución de la expansión foliar y la aceleración de la senescencia de las hojas y, por lo tanto, a través de la intercepción de la radiación solar. Un estrés hídrico también reduce la tasa fotosintética, disminuyendo por lo tanto la eficiencia de conversión de la radiación interceptada

en biomasa, efecto que se produce en cualquiera etapa del ciclo del cultivo. El maíz posee una alta sensibilidad estomática, superior a la del girasol y de la soja. Debido al efecto negativo del déficit hídrico sobre las eficiencias de intercepción y de conversión, la tasa de crecimiento del cultivo se ve afectada (Andrade *et al.*, 1996). En consecuencia, la producción del cultivo de maíz depende de la cantidad de agua disponible para evapotranspirar (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

El período comprendido entre 15 días antes y hasta 15-20 días posteriores a la floración es el más crítico para la determinación del rendimiento de maíz, ya que en esta etapa se fija el número de granos por unidad de superficie, variable estrechamente relacionada con el rendimiento reproductivo (Andrade *et al.*, 1996, Lorenzatti, 2001, Andrade y Sadras, 2002, Satorre *et al.*, 2003 y Echarte *et al.*, 2006).

Un estrés hídrico en floración reduce la eficiencia de conversión en biomasa de la radiación interceptada, pudiendo verse también disminuidas la intercepción de radiación y la partición de materia seca a espigas. Como consecuencia, aumenta el aborto de estructuras reproductivas y disminuye la producción final de grano. En este contexto, el hecho de contar con mayor cantidad de agua disponible durante el período alrededor de floración (\pm 15-20 días) reduce el impacto de períodos de sequía, atenuando su efecto sobre la producción (Andrade *et al.*, 1996, Lorenzatti, 2001, Satorre *et al.*, 2003 y Echarte *et al.*, 2006).

El maíz presenta alta respuesta al riego complementario alrededor de floración, debido a su gran sensibilidad a sequías en esta etapa (Andrade *et al.*, 1996).

Las deficiencias hídricas durante el período de llenado de granos tienen, en general, menor efecto sobre el rendimiento (Andrade *et al.*, 1996, Andrade y Sadras, 2002 y Satorre *et al.*, 2003).

Entre los cereales, el maíz es un cultivo eficiente en el uso del agua, siendo potencialmente el cultivo de grano de mayor rendimiento (Doorenbos y Pruitt, 1977).

La eficiencia en el uso del agua (EUA) para grano de este cultivo oscila entre 19 y 25 kg ha⁻¹ mm⁻¹ de agua consumida (Caviglia y Paparotti, 1999). Según Rivetti (2004), en la zona de Río Cuarto, la EUA para grano varió entre 27 y 29 kg ha⁻¹ mm⁻¹ de agua consumida. Para obtener una producción máxima requiere en su ciclo entre 400 y 700 mm dependiendo del clima (Doorenbos y Pruitt, 1977). Entre las variables que más influyen el consumo de agua por los cultivos están la temperatura, radiación solar, humedad relativa y el viento (Caviglia y Paparotti, 1999).

En Balcarce, cultivos bajo condiciones hídricas y nutricionales no limitantes, alcanzaron entre 23000 y 25000 kg ha⁻¹ de MS aérea, con un consumo de agua de 530 mm y una EUA para MS de aproximadamente 44 kg ha⁻¹ mm⁻¹ de agua consumida (Andrade y Gardiol, 1995).

Según Puiatti *et al.* (2008), utilizando diferentes programaciones de riego complementario sobre la producción de grano y de MS de un cultivo de maíz en la zona de Río Cuarto, los rendimientos de granos obtenidos fueron en promedio de 17587,7 kg ha⁻¹, para los tratamientos regados y 13699 kg ha⁻¹ para el testigo sin riego. Mientras que los resultados de MS obtenidos fueron en promedio de 24738,98 kg ha⁻¹ para los tratamientos con riego y 21205,29 kg ha⁻¹ para el testigo sin riego. La eficiencia del uso de agua para grano y MS no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos y fue de 4,16 kg m⁻³ en promedio, para MS y 2,89 kg m⁻³ en promedio, para grano.

Por su parte, el sistema de siembra directa permite, a través de la cobertura aportada por los rastrojos y por la mejora del ambiente edáfico, lograr una mayor disponibilidad de agua útil para los cultivos, contribuyendo también con una mayor eficiencia en el uso del agua, lo cual no solo permite maximizar rendimientos, sino que también permite tener un "piso de producción" más alto, o dicho de otra manera, aumenta la estabilidad de producción. Si se tiene en cuenta que el agua es el recurso que principalmente limita la producción en sistemas agrícolas de secano, el cultivo de maíz encuentra en la siembra directa el ambiente apropiado para maximizar su producción y estabilizarla a través de los años. La no remoción del suelo y el hecho de mantener la cobertura en superficie, deberán ir acompañados de medidas de manejo tendientes a potenciar las cualidades de ese ambiente, como ser asegurar una nutrición balanceada, adecuado arreglo espacial de las plantas por unidad de superficie, período libre de malezas, barbechos limpios, mínimo impacto de plagas y enfermedades, entre otras (Lorenzatti, 2001).

El maíz es un cultivo de gran importancia dentro de la rotación, ya que el mismo presenta una elevada producción de materia seca por unidad de superficie que quedará en el suelo, favoreciendo al balance positivo de materia orgánica. Además, por sus características constitutivas, el rastrojo de maíz presenta una excelente calidad, ya que su alta relación C/N (carbono/nitrógeno) hace que la cobertura aportada sea duradera y que buena proporción pase a formar parte de la fracción más estable de la materia orgánica, el humus. Por otra parte, el sistema radicular del maíz favorece la estructuración del suelo, posibilitando, luego de la descomposición de las raíces, la formación de macroporos en el perfil del suelo y facilitando así el movimiento de aire y agua. Por lo tanto, el maíz en siembra directa es uno de los cultivos que permite maximizar las mejoras del ambiente que el sistema permite, contribuyendo al mantenimiento o mejoramiento de las propiedades del suelo (Lorenzatti, 2001).

Otro factor básico en la producción de maíz es la fertilización, la cual es una tecnología importante en siembra directa, ya que al ser un cultivo de alto potencial de rendimiento demanda una abundante provisión de nutrientes (Gambaudo y Fontaneto, 1996, Gudelj *et al.*, 2003 y Gudelj *et al.*, 2005).

La disponibilidad de nitrógeno en la región pampeana es uno de los factores edáficos que con mayor frecuencia y en condiciones de adecuada disponibilidad hídrica, restringe el logro de altos rendimientos en grano de maíz (Barraco y Díaz-Zorita, 2003, Gudelj *et al.*, 2003, Quiroga *et al.*, 2003, Barraco y Díaz-Zorita, 2004, Barraco y Díaz-Zorita, 2005 y Gudelj *et al.*, 2005).

En sistemas de siembra directa, la menor mineralización de la materia orgánica y la inmovilización generada por los residuos acentúa esta deficiencia nutricional (Rice y Smith, 1984).

Además del sistema de labranza y de las características de los nuevos híbridos de alto potencial de rendimiento, otros factores condicionan el empleo y la respuesta por parte del cultivo a la fertilización, dentro de ésta la fertilización nitrogenada, como son factores ambientales, edáficos, tecnológicos y de manejo del cultivo (Barraco y Díaz-Zorita, 2003, Gudelj *et al.*, 2003, Quiroga *et al.*, 2003, Barraco y Díaz-Zorita, 2004, Barraco y Díaz-Zorita, 2005 y Gudelj *et al.*, 2005).

La dosis y el momento de aplicación de los fertilizantes nitrogenados son dos factores importantes en la eficiencia del nitrógeno (Jokela y Randall, 1989, Andrade *et al.*, 1996, Ferrari *et al.*, 2001, Barraco y Díaz-Zorita, 2003, Gudelj *et al.*, 2003, Barraco y Díaz-Zorita, 2004, Barraco y Díaz-Zorita, 2005 y Gudelj *et al.*, 2005).

El propósito del siguiente trabajo fue evaluar la producción de un cultivo de maíz bajo diferentes niveles de riego complementario y momentos de aplicación de fertilizante nitrogenado.

HIPÓTESIS

La programación del riego complementario considerando un espacio de la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo para aprovechar las precipitaciones, no afecta el rendimiento en grano ni la producción de biomasa del cultivo con diferentes momentos de fertilización nitrogenada. El pronóstico extendido de 72 horas es una herramienta adecuada para aprovechar un óptimo almacenamiento en el suelo del agua de lluvia. El estrés hídrico en períodos no críticos no afecta significativamente los rendimientos del cultivo con distintos momentos de aplicación de nitrógeno y genera un ahorro importante del agua empleada para riego. La fertilización nitrogenada en diferentes momentos de aplicación afecta significativamente la producción de maíz.

OBJETIVOS

- Evaluar los efectos de diferentes programaciones de riego complementario sobre el rendimiento en grano y sus componentes y sobre la producción de materia seca aérea de maíz.
- Analizar los efectos de diferentes momentos de aplicación de fertilizante nitrogenado sobre el rendimiento en grano y sus componentes y sobre la producción de materia seca aérea de maíz.
- Evaluar el efecto sobre el índice de cosecha de diferentes programaciones de riego complementario y momentos de fertilización nitrogenada.
- Determinar la eficiencia de uso del agua para rendimiento en grano y materia seca aérea, ante el empleo de diferentes programaciones de riego complementario y momentos de fertilización nitrogenada.
- Observar el efecto sobre el desarrollo fenológico del cultivo de los tratamientos aplicados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), situado sobre Ruta 36, km 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Su ubicación geográfica es 33° 07' LS, 64° 14' LO y con una altura de 421 msnm¹.

El área de estudio pertenece al Departamento de Río Cuarto, el cual está conformado por cuatro grandes Unidades Ambientales, ubicándose Río Cuarto en la Unidad Ambiental de Llanura Subhúmeda bien drenada, con suelos en su mayoría Hapludoles típicos, sin problemas de drenaje interno o externo, caracterizándose por un relieve plano, con pendientes menores al 2%, bien desarrollados, sobre materiales loésicos, franco-arenosos (Cantero *et al.*, 1998).

El clima es templado-subhúmedo, con una media anual de precipitaciones de 801,83 mm (serie 1978-2008) (Figura 1), concentrándose entre los meses de octubre y abril (Comunicación personal)¹.

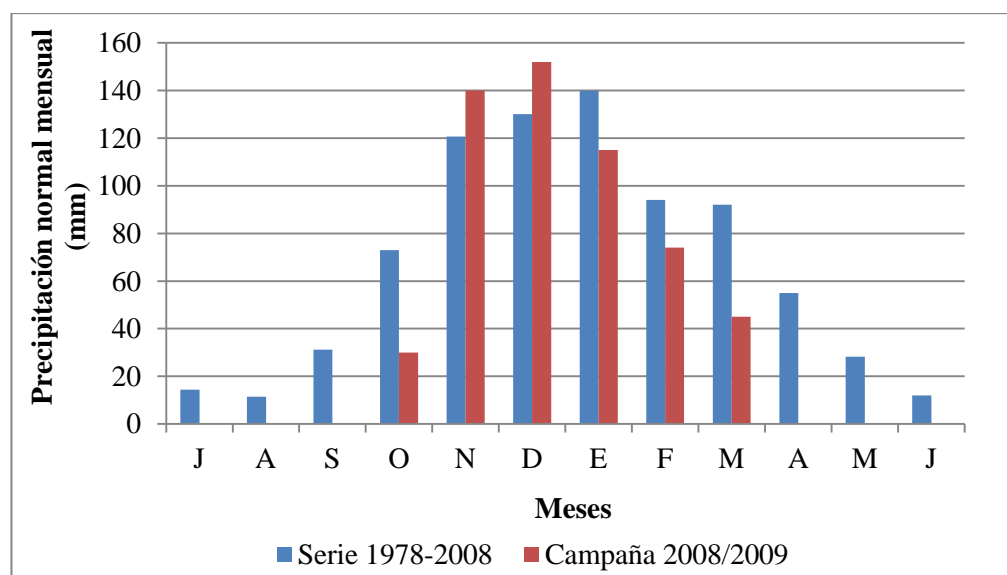


Figura 1: Precipitación normal mensual (serie 1978-2008) y total mensual de la campaña 2008/2009 (mm).

Se puede observar en la Figura 1 que las precipitaciones ocurridas durante la campaña 2008/2009 sólo superaron en parte del ciclo del cultivo a las precipitaciones normales de Río Cuarto, ocurriendo esto sólo en los meses de noviembre y diciembre de 2008, a diferencia de lo

¹Comunicación personal: Ing. Víctor Rotondo, Agrometeorología, FAV – UNRC.

sucedido en la campaña anterior (2007/2008), donde las precipitaciones ocurridas en la misma superaron en la mayor parte del ciclo del cultivo a las precipitaciones normales de Río Cuarto, dado en los meses de octubre y diciembre de 2007 y enero, febrero y marzo de 2008, según Alzugaray (2009) y Militello (2010).

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, siendo la fecha media de la primer helada el 25 de mayo, con una desviación estándar de $\pm 14,3$ días y de la última el 12 de septiembre, con una desviación estándar de $\pm 20,3$ días. La intensidad del viento, factor importante en la evapotranspiración de los cultivos, oscila entre 2,8 m seg^{-1} y 5,5 m seg^{-1} (serie 1974-1993) (Seiler *et al.*, 1995).

Alzugaray (2009) y Militello (2010) realizaron una calicata para un ensayo en la campaña anterior (agosto de 2007), en un lote del mismo campo experimental de la UNRC, cercano al del presente trabajo, a los fines de efectuar un análisis físico del suelo, donde se determinaron los parámetros edáficos relacionados con el agua del suelo. Se diferenciaron ocho horizontes, describiendo los mismos. Debido a la similitud de ambos ensayos con el aquí presentado, fue utilizada esta información, para su uso en el balance de agua del suelo (Tablas 1 y 2).

Tabla 1: Parámetros edáficos relacionados con el agua del suelo.

Horizontes	Densidad Aparente (Dap) g cm^{-3}	Humedad a Cap. de Campo (g g^{-1})	Humedad a Punto de Marchitez (g g^{-1})	Lámina en Wc (mm)	Lámina en Wm (mm)
Ap1	1,30	21,53	9,33	13,99	6,06
Ap2	1,32	20,23	8,97	24,03	10,66
Ad	1,40	19,05	9,15	21,34	10,25
Bw1	1,39	19,70	9,14	35,60	16,52
Bw2	1,28	18,15	9,09	32,54	16,29
BC	1,30	16,77	8,21	37,06	18,14
C	1,29	16,52	7,42	34,10	15,31
Ck	1,30	16,65	7,48	38,96	17,50
				237,63	110,73

Agua útil: 126,90 mm

Nota: Dap: Densidad aparente; Wc: capacidad de campo; Wm: punto de marchitez permanente.

Tabla 2: Datos de calicata.

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

En el lote del ensayo se realizó, previo a la siembra, un muestreo de suelo hasta un metro de profundidad, incluyendo los ocho horizontes del perfil, mediante la utilización de un barreno perteneciente a la cátedra de Hidrología Agrícola de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC. Se determinó el porcentaje de humedad y la lámina de agua (mm) en cada horizonte del perfil, a los fines de obtener la lámina inicial para dar comienzo al balance de agua del suelo desde la siembra.

Las muestras fueron tomadas en las parcelas de los niveles de riego R0 y R4, para realizar un muestreo representativo del lote. Las mismas se pesaron para obtener el peso de suelo húmedo, luego se secaron en estufa, perteneciente a la cátedra de Hidrología Agrícola, a 105 °C hasta peso constante, se obtuvo el peso de suelo seco y se calculó el porcentaje de humedad de cada horizonte mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso suelo húmedo (g)} - \text{Peso suelo seco (g)}}{\text{Peso suelo seco (g)}} \times 100$$

Obtenidos los porcentajes de humedad correspondientes, se procedió al cálculo de la lámina de agua inicial (mm) por horizonte, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Lámina de agua (mm)} = \frac{\% \text{ Humedad} \times \text{Dap (g cm}^{-3}\text{)} \times \text{profundidad horizonte (mm)}}{100}$$

Los resultados obtenidos fueron los siguientes (Tabla 3).

Tabla 3: Porcentaje de humedad (%) y lámina de agua (mm) previos a la siembra.

		R0		R4		Promedios	
Horizontes	Profundidad	Humedad (%)	Lámina (mm)	Humedad (%)	Lámina (mm)	Humedad (%)	Lámina (mm)
Ap1	0 – 5 cm	28,19	18,33	16,55	10,76	22,37	14,54
Ap2	5 – 14 cm	24,53	29,14	18,73	22,25	21,63	25,69
Ad	14 – 22 cm	20,13	22,55	16,19	18,13	18,16	20,34
Bw1	22 – 35 cm	12,35	22,32	13,17	23,80	12,76	23,06
Bw2	35 – 49 cm	12,32	22,08	12,40	22,22	12,36	22,15
BC	49 – 66 cm	12,03	26,58	11,42	25,23	11,72	25,91
C	66 – 82 cm	12,30	25,39	11,28	23,29	11,79	24,34
Ck	82 – 100 cm	12,10	28,31	11,02	25,80	11,56	27,06
Lámina Total (mm)			194,69		171,47		183,08

El lote del ensayo presentaba maíz como cultivo antecesor de primavera-verano de la campaña anterior (2007/2008).

En cuanto a las labores previas a la siembra, el 2 de octubre de 2008 se realizaron aplicaciones de atrazina con una dosis de 6 L ha⁻¹, glifosato con una dosis de 4 L ha⁻¹ y cipermetrina con una dosis de 150 cc ha⁻¹. El 23 de octubre (luego de la siembra del cultivo) se aplicó imazetapir (Pivot) como post-emergente, en una dosis de 100 g ha⁻¹, para el control de maíz guacho y sorgo de Alepo que habían escapado al control de pre-siembra.

El ensayo se llevó a cabo durante la campaña agrícola 2008/2009, utilizando un híbrido simple de maíz (NIDERA AX 884 CL). La siembra del cultivo se realizó el 3 de octubre de 2008, en siembra directa, con una densidad de 95000 plantas ha⁻¹ y con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m, realizando fertilización con fósforo, aplicando 45 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (PDA).

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

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

Se realizaron 10 tratamientos (5 niveles del factor riego × 2 niveles del factor fertilización), con 5 repeticiones por cada tratamiento (Bloques).

Las parcelas experimentales tenían una dimensión de 10 m por 16 m, siendo un total de 50 parcelas (10 tratamientos × 5 repeticiones (bloques) por tratamiento), similar al diseño que se presenta a continuación (Figura 2).

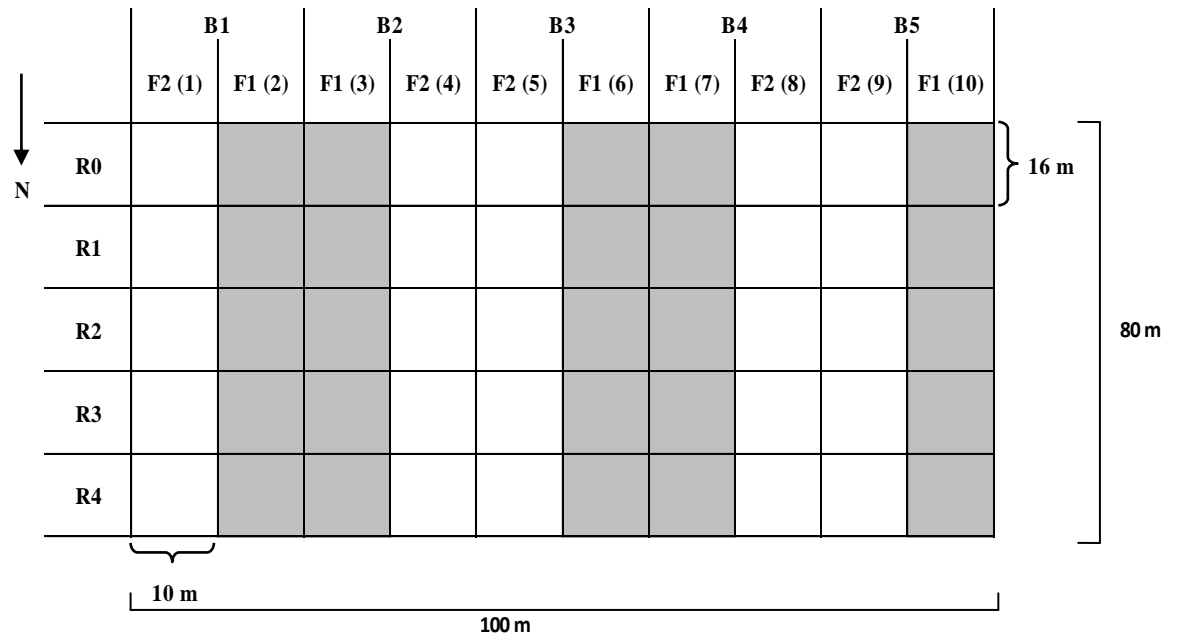


Figura 2: Diseño del ensayo.

Nota: R: niveles del factor riego; F: niveles del factor fertilización; B: bloques. El equipo de riego se desplazaba de Sur a Norte durante el riego, regresando en sentido contrario luego de cada riego (desplazamiento en sentido horizontal en la figura).

Los niveles del factor riego fueron los siguientes:

R0: Testigo; partiendo de capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo, efectuándose la reposición cuando se consumieron 25 mm.

R1: 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 consumían 25 mm, siempre y cuando en el pronóstico extendido de 72 horas brindado por el Servicio Meteorológico Nacional no se indicaban lluvias. En caso de no ocurrencia se aplicó la lámina correspondiente.

R2: 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 anunciara precipitaciones.

R3: El riego se realizó considerando tres fases, Fase 1: desde siembra hasta 12 hojas, Fase 2: desde 12 hojas hasta principio de grano lechoso y Fase 3: desde grano lechoso hasta madurez fisiológica. En la fase 1 y 3 se contempló un umbral de riego considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60 y en la etapa 2 sin estrés ($K_s = 1$). Al alcanzar el umbral establecido para cada fase se aplicó una lámina de 25 mm.

R4: El riego se realizó considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60, en todo el ciclo. Cada vez que se alcanzaba el umbral establecido se aplicó una lámina de riego de 25 mm.

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

Para maíz:

$$p = 0.55 + 0.04(5 - ETc)$$

Donde:

ETc = evapotranspiración del cultivo (mm) (ETc = ETo x Kc x Ks)

ETo = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

Kc = coeficiente de cultivo

Ks = coeficiente de estrés

Para la determinación de la ETo se utilizó la Ecuación de Penman- Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998). Los datos climáticos necesarios se obtuvieron de la Estación Agrometeorológica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, ubicada en el campo experimental donde se realizó el ensayo.

El coeficiente de cultivo (Kc) que se utilizó fue el que se obtuvo en la campaña 2001/02, en el mismo campo experimental de este ensayo (Rivetti, 2004).

El momento oportuno de riego se determinó en base a un balance de agua del suelo, expresado en términos de agotamiento del agua en el suelo al final de cada día:

$$D_{ri} = D_{ri-1} - P_i - R_i + ETc_i + Pp_i$$

Donde:

D_{ri}: Agotamiento al final del día i (mm)

D_{ri-1}: Agotamiento al final del día i-1 (mm)

P_i: Precipitación efectiva del día i (mm)

R_i: Riego del día i (mm)

ETc_i: Evapotranspiración del cultivo del día i (mm)

Pp_i: Percolación profunda del día i (mm)

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó el método de la "Bureau of Reclamations" de los EEUU (Doorenbos y Pruitt, 1977):

Precipitación ocurrida (mm)	Precipitación efectiva
1 -15	100%
15 - 25	90%
25 - 50	85%
50 - 75	75%
75 - 100	50%
100 - 125	30%
125 - 150	10%
> 150	0%

Utilizando dicho balance de agua del suelo se regaba cuando el mismo determinaba el nivel de agotamiento permisible, aportándose la cantidad de agua que se determinaba en los distintos niveles de riego.

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

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 provista por una perforación, con muy buena calidad para riego, clasificada según U.S. Salinity Laboratory como C2-S1, analizada por el Departamento de Geología de la UNRC (1996). 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 $\mu\text{S cm}^{-1}$ Sólidos disueltos totales: 234 mg L^{-1}		
Determinaciones básicas		
Carbonato:	0,00 mg L^{-1}	0,00 meq L^{-1}
Bicarbonato:	150,00 mg L^{-1}	2,40 meq L^{-1}
Sulfato:	35,71 mg L^{-1}	0,75 meq L^{-1}
Cloruros:	10,36 mg L^{-1}	0,29 meq L^{-1}
Sodio:	16,28 mg L^{-1}	0,70 meq L^{-1}
Potasio:	5,20 mg L^{-1}	0,13 meq L^{-1}
Calcio:	44,80 mg L^{-1}	2,24 meq L^{-1}
Magnesio:	4,39 mg L^{-1}	0,36 meq L^{-1}
Nitrato:	10,00 mg L^{-1}	0,16 meq L^{-1}
Arsénico:	0,00 mg L^{-1}	0,00 meq L^{-1}
Fluoruros:	0,36 mg L^{-1}	0,02 meq L^{-1}
Determinaciones complementarias		
Dureza total:	2,60 meq L^{-1}	130,29 ppm de CO_3Ca
Alcalinidad TAC:	2,40 meq L^{-1}	120,00 ppm de CO_3Ca
RAS:	0,61	
CSR:	-0,20 meq L^{-1}	
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).		

Los niveles del factor fertilización fueron los siguientes:

F1: Fertilización nitrogenada completa en el estadio fenológico de 6 hojas (V6).

F2: Fertilización nitrogenada repartida en siembra y estadio fenológico de 6 hojas (V6).

La fertilización se realizó con Urea (46-0-0), fertilizante que se caracteriza por ser muy soluble, de alta higroscopicidad y facilidad de manejo, sufriendo pérdidas por volatilización cuando no es incorporado. En F1 se aplicaron 300 kg ha^{-1} en V6 al voleo de forma manual y en F2 se aplicó 100 kg ha^{-1} incorporados en la siembra y 200 kg ha^{-1} en V6 al voleo de forma manual.

Las variables a evaluar fueron la producción de grano cosechado en madurez fisiológica, ajustándose el rendimiento al 14% de humedad, los componentes del rendimiento (número de granos m^{-2} y peso de los 1000 granos), la producción de materia seca aérea total en madurez

fisiológica, el Índice de Cosecha (IC) y la EUA para rendimiento en grano y materia seca aérea total. También se realizó el seguimiento de la fenología del cultivo.

La cosecha de granos, de cada tratamiento y repetición, se realizó manualmente el 3 de marzo de 2009, habiendo alcanzado el cultivo el estado fenológico de madurez fisiológica, cosechando 2 m² por parcela (3,84 metros lineales), representando 2 hileras de 1 m² (1.92 metros lineales) por parcela, teniendo en cuenta que las hileras a cosechar presentarían plantas en competencia perfecta sobre la hilera y con las plantas de las hileras vecinas. La trilla se efectuó con una máquina trilladora estacionaria perteneciente a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC.

Luego de la cosecha se determinó, en cada muestra, el número de espigas, el número de hileras por espiga y el número de granos por hilera. Los dos últimos valores se cuantificaron mediante la extracción de 5 espigas al azar de cada muestra. Con estos datos se estimó el número de granos m⁻², calculándose de la siguiente manera:

$$N^{\circ} \text{ de granos } m^{-2} = n^{\circ} \text{ de espigas } m^{-2} \times n^{\circ} \text{ hileras espiga}^{-1} \times n^{\circ} \text{ granos hilera}^{-1}$$

Luego de la trilla de espigas, se pesaron los granos obtenidos de cada muestra, para estimar con este peso el rendimiento en grano en kg ha⁻¹ y una submuestra de 500 granos contados manualmente, para obtener el peso de los 1000 granos. Luego se determinó el porcentaje de humedad de cada muestra con higrómetro y se ajustó el peso de los granos a 14 % de humedad.

La determinación de la producción de materia seca aérea total en madurez fisiológica se realizó sólo en 20 parcelas, resultantes de la combinación de 2 niveles de riego (R0 y R4) y dos niveles de fertilización (F1 y F2) con las 5 repeticiones. En el estado fenológico R6 (Ritchie y Hanway, 1997), ocurrido el 10 de marzo de 2009, se tomaron muestras de 3 plantas representativas por parcela, seleccionando aquellas que estuvieran en igualdad de competencia, cortándolas desde la base del tallo (al nivel del suelo) para extraer la parte aérea total, incluidas las espigas.

Cada muestra de plantas se secó en estufa a 65 °C hasta peso constante, para luego obtener el peso de la materia seca aérea total en R6.

En las mismas parcelas se realizaron las observaciones fenológicas siguiendo la clave de Ritchie y Hanway (1997), cada siete días, como máximo, entre observaciones (según la evolución que presentaba el desarrollo del cultivo, estimando así la proximidad entre los estadios fenológicos), sobre 10 plantas seleccionadas en cada parcela al inicio del ciclo del cultivo por

medio de un muestreo sistemático con arranque aleatorio, estando en competencia perfecta con las plantas de hileras vecinas. Se siguieron las mismas plantas durante todo el ciclo del cultivo.

Siguiendo la clave fenológica mencionada, se consideró cada estadio específico (vegetativo o reproductivo), cuando lo alcanzaban el 50 % o más de las plantas y se tomó como hoja verdadera cuando la misma estaba totalmente desplegada dejando visible la lígula.

El Índice de Cosecha del cultivo (IC) se calculó de la siguiente manera:

$$IC = \frac{Y}{MS} \times 100$$

Donde:

IC: Índice de cosecha de granos (%).

Y: Rendimiento en grano del cultivo (g m^{-2}).

MS: Producción de materia seca aérea del cultivo (g m^{-2}).

La eficiencia de uso del agua (EUA) representa el rendimiento de grano o 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:

$$EUAg = \frac{Y}{ETc} \quad \text{y} \quad EUAms = \frac{MS}{ETc}$$

Donde:

EUAg: Eficiencia de uso del agua para rendimiento de grano ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$).

EUAms: Eficiencia de uso del agua para rendimiento de materia seca ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$).

Y: Rendimiento en grano del cultivo (g m^{-2}).

MS: Producción de materia seca aérea del cultivo (g m^{-2}).

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm), obtenida desde el balance de agua.

Empleando el software 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

Balance hídrico

A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron diferentes riegos complementarios según los niveles de riego, con una lámina de 25 mm cada uno, totalizando 10 riegos en el nivel R0 (250 mm), 8 riegos en R1 (200 mm), 6 riegos en R2 (150 mm), y 4 riegos en R3 y R4 (100 mm).

Las precipitaciones durante el período de evaluación (desde el 3 de octubre de 2008 al 2 de marzo de 2009) fueron de 508 mm, mientras que la evapotranspiración del cultivo fue de 648,29 mm para los niveles R0, R1 y R2 y 585,58 mm para R3 y R4. La distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo se muestra en la Figura 3:

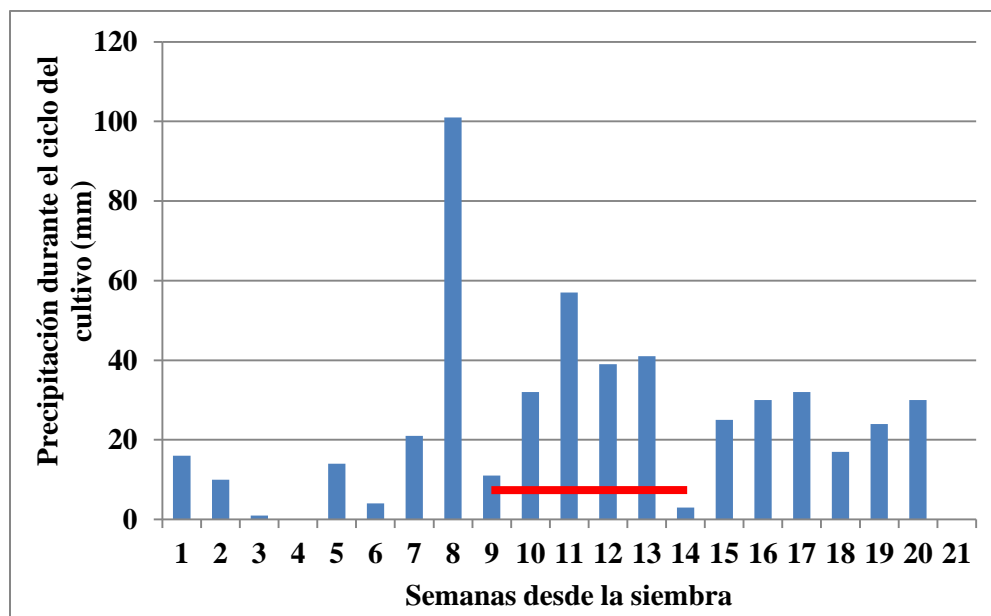


Figura 3: Precipitación semanal durante el ciclo del cultivo (mm).

Nota: semana 1: siembra; semana 6: seis hojas (V6); línea roja en semanas 9 a 14: período crítico del cultivo; semana 21: madurez fisiológica (R6) y cosecha.

El período crítico de determinación de rendimiento del cultivo tuvo una duración aproximada de 5 semanas, encontrándose entre fines de la semana 9 (V12) y mediados de la 14 (R3). Como se observa en la Figura 3, el cultivo recibió, en general, buenas precipitaciones durante ese período, aplicándose en R0, solamente un riego en la semana 9 y uno al inicio de la 14 y en R1 un riego al inicio de la semana 14, sin necesidad de riego en los demás niveles dentro de dicho período. Durante todo el ciclo, el cultivo recibió menores precipitaciones en el período

pre-crítico, excepto en la semana 8 en la cual llovieron 101 mm, aplicándose durante el mismo, la mayoría de los riegos en todos los niveles. En el período post-crítico la precipitación fue mayor, por lo tanto, la cantidad de riegos menor (Tabla 5).

Para la determinación del periodo crítico de rendimiento del cultivo se utilizó lo expresado por Andrade *et al.* (1996), Satorre *et al.* (2003) y Echarte *et al.* (2006), quienes mencionan que en maíz el número de granos es el componente que más influye en la determinación del rendimiento y es definido durante 30 días alrededor de la floración, coincidiendo aproximadamente con el período comprendido entre doce hojas (V12) y grano lechoso (R3). Las condiciones ambientales a las que se expone al cultivo durante este momento son críticas para asegurar una adecuada fijación de granos.

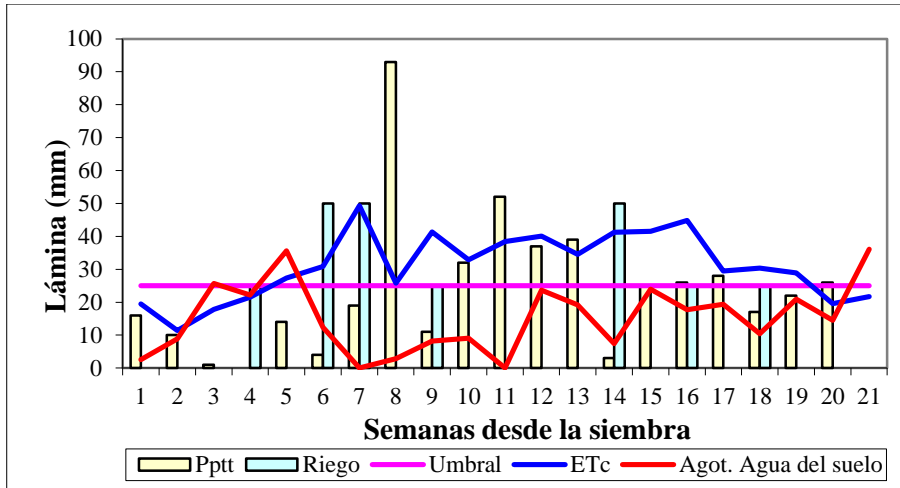
En la Tabla 5 se indican los diferentes riegos realizados, la evapotranspiración del cultivo, la precipitación efectiva y la percolación ocurrida durante el ciclo del cultivo.

Tabla 5: Evapotranspiración del cultivo (ETc), Riegos aplicados, Percolación y Precipitación efectiva.

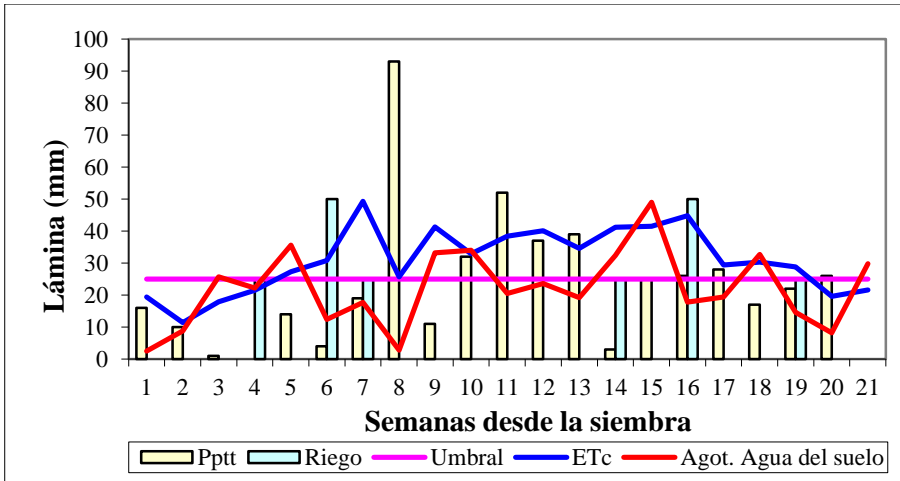
Semanas del ciclo	ETc (mm)					Riegos (mm)					Percolación (mm)					Precip. efect. (mm)
	R0	R1	R2	R3	R4	R0	R1	R2	R3	R4	R0	R1	R2	R3	R4	
1	19,46	19,46	19,46	19,46	19,46											16
2	11,45	11,45	11,45	11,45	11,45						4,86	4,86	4,86	4,86	4,86	10
3	17,87	17,87	17,87	15,22	15,22											1
4	21,54	21,54	21,54	16,60	16,60	25	25	25								
5	27,34	27,34	27,34	24,03	24,03				25	25						14
6	30,80	30,80	30,80	20,41	20,41	50	50	50	25	25						4
7	49,31	49,31	49,31	36,84	36,84	50	25	25	25	25	7,31					19
8	25,75	25,75	25,75	25,75	25,75						70,06	52,37	52,37	61,12	61,12	93
9	41,35	41,35	41,35	41,35	41,35	25										11
10	32,89	32,89	32,89	32,89	32,89											32
11	38,43	38,43	38,43	38,43	38,43						4,51					52
12	40,07	40,07	40,07	40,07	40,07						20,57	0,08	0,08	0,07	0,07	37
13	34,58	34,58	34,58	34,58	34,58											39
14	41,20	41,20	41,20	41,20	41,20	50	25									3
15	41,54	41,54	41,54	33,76	33,76											25
16	44,80	44,80	44,80	31,59	31,59	25	50	25	25	25						26
17	29,46	29,46	29,46	29,46	29,46						0,18	0,18				28
18	30,33	30,33	30,33	30,33	30,33	25					2,66					17
19	28,86	28,86	28,86	28,86	28,86		25	25			3,64					22
20	19,58	19,58	19,58	14,09	14,09											26
21	21,66	21,66	21,66	19,19	19,19											
Total	648,29	648,29	648,29	585,58	585,58	250	200	150	100	100	113,79	57,49	57,31	66,05	66,05	475

	Período crítico del cultivo
--	-----------------------------

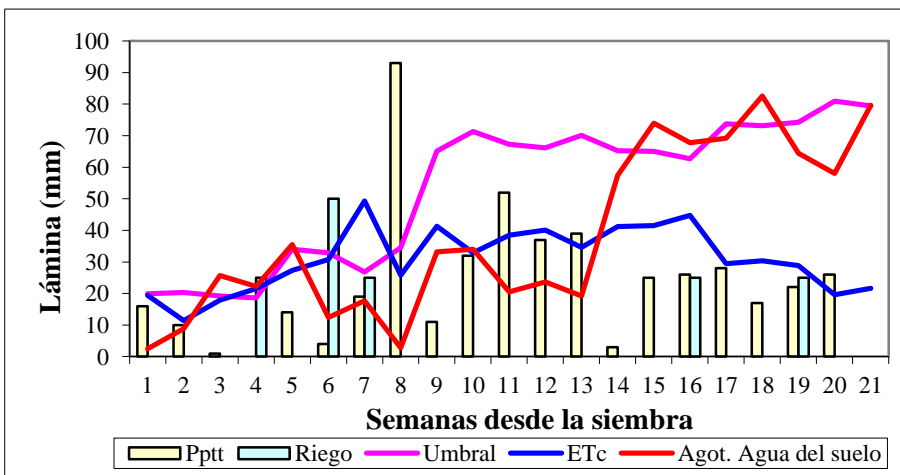
La evolución del agotamiento del agua en el suelo, la ETc, el umbral de riego, las precipitaciones efectivas y los riegos efectuados durante el ciclo del cultivo para los distintos niveles de riego, se observan en la Figura 4 (A, B, C, D y E).



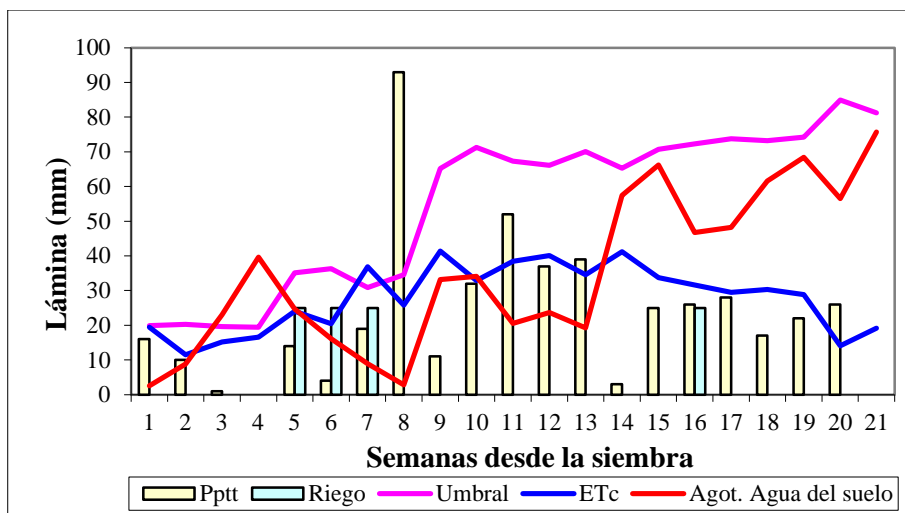
A



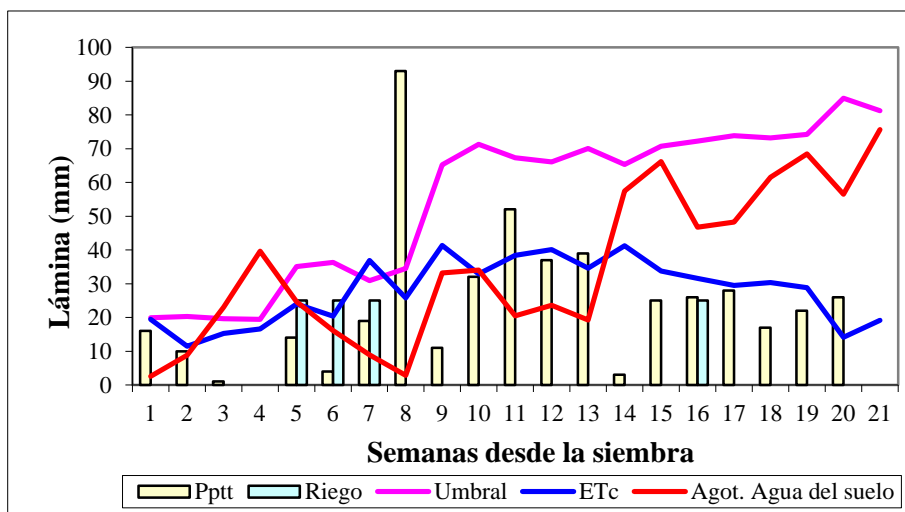
B



C



D



E

Figura 4: Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (ETc), umbral de riego, precipitaciones efectivas (Ppt) y riegos realizados durante el ciclo del cultivo para los distintos niveles de riego, R0: A, R1: B, R2: C, R3: D, R4: E.

En la Figura 4 (A), correspondiente al nivel de riego R0, se regó cuando se consumían 25 mm del agua del suelo (umbral). En la semana 3 el agotamiento del agua en el suelo superó el umbral al final de la misma, efectuándose un riego de 25 mm al comienzo de la semana 4 (al día siguiente de superado el umbral). En la semana 5 el agotamiento del agua en el suelo superó al umbral, sin embargo no se pudo realizar el riego correspondiente debido a inconvenientes técnicos con el equipo de riego. En la semana 6, solucionados dichos inconvenientes, se realizaron dos riegos de 25 mm debido a que el agotamiento del agua en el suelo superó en dos

oportunidades al umbral. En las semanas 7 y 14 también se realizaron dos riegos de 25 mm por semana (debido a que durante las mismas el agotamiento del agua en el suelo superó en dos oportunidades al umbral). En las semanas 9, 16 y 18 se realizó un riego de 25 mm y en la semana 21, pese a haberse superado el umbral, no se aplicó riego debido a que el cultivo llegó a madurez fisiológica. Como puede observarse, en las restantes semanas no correspondió aplicar riego ya que no fue superado el umbral, debido a las precipitaciones efectivas ocurridas y a su efecto sobre el balance del agua en el suelo.

En la Figura 4 (B), correspondiente al nivel de riego R1, se regó cuando se consumían 25 mm del agua del suelo (umbral) siempre y cuando en el pronóstico extendido de 72 horas brindado por el Servicio Meteorológico Nacional no se indicaban lluvias. En caso de precipitaciones pronosticadas y no ocurrencia de las mismas se aplicó la lámina correspondiente (25 mm). En la semana 3 el agotamiento del agua en el suelo superó el umbral al final de la misma, efectuándose un riego de 25 mm al comienzo de la semana 4 (al día siguiente de superado el umbral), debido a que el pronóstico extendido no indicaba precipitaciones. En la semana 5 el agotamiento del agua en el suelo superó al umbral, sin embargo no se pudo realizar el riego correspondiente debido a inconvenientes técnicos con el equipo de riego. En la semana 6, solucionados dichos inconvenientes, se realizaron dos riegos de 25 mm, ya que el pronóstico extendido no indicaba precipitaciones. En las semanas 7 y 19 correspondió realizar un riego y en la semana 16 dos riegos, debido a que el agotamiento del agua en el suelo superó al umbral, no indicándose precipitaciones en el pronóstico extendido, aunque sí ocurrieron al final de la semana 16. En las semanas 9, 10, 15 y 18 el umbral fue superado pero no se aplicaron riegos debido a que el pronóstico extendido indicó precipitaciones dentro de las 72 horas, ocurriendo las mismas en todos los casos, pese a lo cual el agotamiento del agua en el suelo no estuvo por debajo del umbral en dichas situaciones, debido a las ETc ocurridas. En la semana 14 también se aplicó un riego de 25 mm y en la semana 21, pese a haberse superado el umbral, no se aplicó riego debido a que el cultivo llegó a madurez fisiológica.

En la Figura 4 (C), correspondiente al nivel de riego R2, 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 anunciara precipitaciones. El umbral de riego era variable en función de la profundidad de raíces y la evapotranspiración del cultivo (ETc). Se puede observar que en la semana 3 el agotamiento del agua en el suelo superó al umbral, no efectuándose un riego debido a que el pronóstico extendido indicaba precipitaciones, las cuales ocurrieron pero fueron escasas, de sólo 1 mm (véase Anexo Tabla 3). En las semanas 4, 7, 16 y 19 correspondió realizar un riego de 25 mm, no indicándose precipitaciones en el pronóstico extendido, a pesar de que ocurrieron

precipitaciones semanales no anunciadas y/o fuera de las 72 horas de los momentos de riego. En la semana 6 se realizaron dos riegos de 25 mm. En las semanas 5, 15 y 18 el umbral fue superado pero no se aplicaron riegos debido a que el pronóstico extendido indicó precipitaciones dentro de las 72 horas, ocurriendo las mismas en todos los casos, pese a lo cual el agotamiento del agua en el suelo no estuvo por debajo del umbral en dichas situaciones, debido a las ETc ocurridas.

En la Figura 4 (D), correspondiente al nivel de riego R3, el mismo se realizó considerando tres fases, Fase 1: desde siembra hasta 12 hojas, Fase 2: desde 12 hojas hasta principio de grano lechoso y Fase 3: desde grano lechoso hasta madurez fisiológica. En la fase 1 y 3 se contempló un umbral de riego considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60 y en la etapa 2 sin estrés ($K_s = 1$). Al alcanzar el umbral establecido para cada fase se aplicó una lámina de 25 mm. El umbral de riego era variable en función de la profundidad de raíces y la evapotranspiración del cultivo (ETc). Se puede observar que en las semanas 3 y 4 se superó el umbral, no efectuándose riegos debido a que el pronóstico extendido indicaba precipitaciones. En las semanas 5, 6, 7 y 16 correspondió realizar un riego de 25 mm debido a que durante las mismas el agotamiento del agua en el suelo superó al umbral, no indicándose precipitaciones en el pronóstico extendido, a pesar de que ocurrieron precipitaciones semanales no anunciadas y/o fuera de las 72 horas.

Por último, en la Figura 4 (E), correspondiente al nivel de riego R4, el riego se realizó considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60, en todo el ciclo, aplicándose una lámina de riego de 25 mm cada vez que se alcanzaba el umbral establecido. El umbral de riego era variable en función de la profundidad de raíces y la evapotranspiración del cultivo (ETc). Como puede observarse, este nivel de riego presentó igual evolución que el nivel de riego R3 (Figura 4 D), debido a que se presentaron iguales condiciones en ambos, que determinaron iguales balances de agua en el suelo. La falta de diferencia entre ambos niveles de riego (R3 y R4) en la evolución del agotamiento del agua en el suelo, ETc, umbral (RAW) y riegos realizados se debió a que diferían únicamente en cuanto a la aplicación del coeficiente de estrés K_s durante el período crítico del cultivo, diferencia que no se manifestó debido a que ambos niveles presentaron siempre un $K_s = 1$ durante este período.

Los balances de agua en el suelo para cada nivel de riego son presentados en el Anexo (Tablas 1, 2, 3, 4 y 5).

La ETc fue similar a la encontrada por Rivetti (2004), Puiatti *et al.* (2006) y Puiatti *et al.* (2008), quienes obtuvieron valores entre 535,1 y 623,53 mm para tratamientos con riego, similares a los obtenidos en el presente ensayo, de 585,58 y 648,29 mm.

Totis de Zeljkovich y Rebella (1980) y Otegui (1992) obtuvieron valores de ETc de 575 mm y 542 ± 50 mm, respectivamente, para siembras de octubre en Pergamino y Balcarce, valores cercanos a los de este ensayo. Andrade y Gardiol (1995), obtuvieron en Balcarce 530 mm para un ciclo de cultivo de 140 días, valor cercano a las menores ETc del presente trabajo.

Doorenbos y Pruitt (1977) señalaron consumos para maíz entre 400 y 700 mm, rango que incluye a los valores de ETc de este ensayo.

Fenología del cultivo

El desarrollo fenológico del cultivo, para los cuatro tratamientos observados, desde siembra a madurez fisiológica (R6), se cumplió en 152 días en los tratamientos R4F1 y R4F2 y en 148 días en los tratamientos R0F1 y R0F2 (Tabla 6).

Se puede observar un retraso en el cumplimiento del desarrollo fenológico, tanto en el período vegetativo como reproductivo, en el nivel de riego R4, alcanzando madurez fisiológica (R6) 4 días más tarde que R0. Dentro de los niveles de riego no hubo diferencias importantes entre niveles de fertilización.

En coincidencia, Rivetti *et al.* (2001) obtuvieron, para el mismo híbrido y en Río Cuarto, retrasos entre 5 y 7 días en las fases reproductivas. Codromaz de Rojas *et al.* (1997) y Karam *et al.* (2003) señalaron que en secano o en años con severas condiciones ambientales se produjo un acortamiento entre fases fenológicas del cultivo ya que se alcanzó antes la madurez fisiológica. Uhart y Andrade (1995a) también observaron demoras de alrededor de 9 días en los estadios vegetativos y 11 días en polinización en cultivos de maíz con riego y con deficiencias de nitrógeno.

Por el contrario Rivetti (2004), con el mismo híbrido y en Río Cuarto, observó que en general no hubo diferencias, entre los tratamientos con riego y sin riego, en alcanzar las fases fenológicas, sólo pequeños retrasos en el tratamiento sin riego en los estadios V11-V12 y R2-R3, sin influir en la duración total del ciclo y alcanzando en la misma cantidad de días la floración masculina (VT) y floración femenina (R1). Se menciona que dicha situación se manifestó en este ensayo ya que incluso el tratamiento sin riego tuvo el aporte necesario de agua a través de las precipitaciones.

Fernández *et al.* (1996) observaron leves demoras en varios estadios fenológicos pero dichas diferencias desaparecieron antes de panojamiento.

Tabla 6: Fenología del cultivo.

Estadio Fenológico	Tratamiento	Fecha	Estadio Fenológico	Tratamiento	Fecha
Siembra	Todos	03/10/2008	VT	R0F1	19/12/2008
VE	Todos	13/10/2008		R0F2	19/12/2008
V1	Todos	17/10/2008		R4F1	22/12/2008
V2	Todos	23/10/2008		R4F2	22/12/2008
V3	R0F1	31/10/2008	R1	R4F1	30/12/2008
	R0F2	31/10/2008	R1-R2	R4F2	30/12/2008
V3-V4	R4F1	31/10/2008	R2	R0F1	30/12/2008
	R4F2	31/10/2008		R0F2	30/12/2008
V5	Todos	07/11/2008	R2-R3	R4F1	09/01/2009
V5-V6	R4F1	14/11/2008		R4F2	09/01/2009
V6	R0F1	14/11/2008	R3	R0F1	09/01/2009
	R0F2	14/11/2008		R0F2	09/01/2009
	R4F2	14/11/2008		R4F1	16/01/2009
	R4F1	21/11/2008		R4F2	16/01/2009
V7	R0F1	21/11/2008	R3-R4	R4F1	23/01/2009
	R4F2	21/11/2008		R4F2	23/01/2009
V7-V8	R0F2	21/11/2008	R4	R0F1	23/01/2009
V9	R4F1	01/12/2008		R0F2	23/01/2009
V10	R4F2	01/12/2008	R4-R5	R4F1	30/01/2009
	R4F1	05/12/2008		R4F2	30/01/2009
V10-V11	R0F1	01/12/2008	R5	R0F1	30/01/2009
V11	R0F2	01/12/2008		R0F2	30/01/2009
	R4F2	05/12/2008		R4F1	06/02/2009
V12	R0F1	05/12/2008		R4F2	06/02/2009
	R0F2	05/12/2008	R6	R0F1	27/02/2009
	R4F1	10/12/2008		R0F2	27/02/2009
	R4F2	10/12/2008		R4F1	03/03/2009
V14	R4F1	15/12/2008		R4F2	03/03/2009
V15	R4F2	15/12/2008	Cosecha	Todos	03/03/2009
V17	R0F1	15/12/2008			
	R0F2	15/12/2008			

Nota: VE: emergencia; Vi: *i* hoja/s desarrollada/s; VT: panojamiento (floración masculina); R1: emergencia de estigmas (floración femenina); R2: cuaje (ampolla); R3: grano lechoso; R4: grano pastoso; R5: grano dentado; R6: madurez fisiológica.

Rendimiento en grano del cultivo y sus componentes

Se analizó el rendimiento en grano del cultivo y sus componentes: número de hileras por espiga, número de granos por hilera, número de granos por espiga, número de granos por m² y peso de los mil granos. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 7, pasando luego a analizar cada variable en detalle por separado.

Tabla 7: Rendimiento en grano y sus componentes.

Nivel Riego	Nivel Fertilizac.	Bloque	N° hil esp ⁻¹	N° granos hil ⁻¹	N° granos esp ⁻¹	Peso 1000 granos (g) 14% H°	N° granos m ⁻²	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
0	1	1	14	35,50	497	377,72	4224,5	14969,92
		2	14	35,50	497	358,6	4224,5	13035,27
		3	11	37,75	415,25	382,04	3529,63	10713,86
		4	14	31,50	441	372,46	3748,5	13022,68
		5	12	35,25	423	394,88	3595,5	14216,16
	2	1	16	33,50	536	378,08	4556	15394,83
		2	13	38,00	494	366,72	4199	14599,23
		3	13,5	32,50	438,75	365	3729,38	14903,39
		4	14	35,00	490	342,52	4165	12817,13
		5	14	32,50	455	318,7	3867,5	11893,40
	Promedio		13,55 a	34,7 a	468,7 a	365,67 a	3983,95 a	13556,59 ab
1	1	1	13	31,50	409,5	415,02	3480,75	15424,70
		2	13	36,75	477,75	403,5	4060,88	13176,58
		3	9,5	35,75	339,63	430,22	2886,81	12864,23
		4	13	34,75	451,75	377,24	3839,88	13309,61
		5	15	39,00	585	387,58	4972,5	15174,91
	2	1	12	37,50	450	438,06	3825	15818,14
		2	14	39,00	546	390,9	4641	15282,98
		3	12	38,25	459	443,02	3901,5	14616,89
		4	13	26,00	338	380,86	2873	13010,01
		5	14	35,25	493,5	358,98	4194,75	13521,91
	Promedio		12,85 a	35,38 a	455,01 a	402,54 b	3867,61 a	14220 b
2	1	1	13	39,75	516,75	398,36	4392,38	13909,50
		2	13	33,00	429	398,04	3646,5	12297,86
		3	12	37,00	444	372,54	3774	13155,25
		4	12	36,75	441	389,56	3748,5	12430,09
		5	12	34,00	408	391,66	3468	12124,76
	2	1	13	38,50	500,5	362,04	4254,25	14410,69
		2	12	35,75	429	385,3	3646,5	15475,14
		3	14	39,50	553	358,74	4700,5	12637,45
		4	12	38,25	459	418,24	3901,5	14416,08
		5	13	43,00	559	381,98	4751,5	14442,81
	Promedio		12,6 a	37,55 a	473,93 a	385,65 ab	4028,36 a	13529,96 ab
3	1	1	13	39,25	510,25	381,34	4337,13	11475,14
		2	15	39,00	585	410,1	4972,5	15501,52
		3	15	34,75	521,25	381,66	4430,63	14709,65
		4	11,5	30,25	347,88	356,32	2956,94	11998,26
		5	14	29,75	416,5	365,02	3540,25	11185,10
	2	1	12	37,75	453	323,76	3850,5	12158,72
		2	14	37,75	528,5	353,7	4492,25	11652,80
		3	13	33,50	435,5	345,66	3701,75	13118,14
		4	14	28,50	399	336,12	3391,5	11779,61
		5	14	36,00	504	390,24	4284	13883,11
	Promedio		13,55 a	34,65 a	470,09 a	364,39 a	3995,74 a	12746,21 ab
4	1	1	13	33,00	429	401,9	3646,5	10376,31
		2	16	37,00	592	380,58	5032	13081,03
		3	12	37,75	453	404,3	3850,5	13356,20
		4	11	34,50	379,5	354,84	3225,75	9475,43
		5	12	36,25	435	353,24	3697,5	10832,13
	2	1	12	35,50	426	358,16	3621	12575,70
		2	12	40,00	480	359,76	4080	12508,28
		3	13	41,25	536,25	383,62	4558,13	14919,50
		4	13	33,25	432,25	339,46	3674,13	11447,47
		5	15	39,25	588,75	357,18	5004,38	14499,38
	Promedio		12,9 a	36,78 a	475,18 a	369,30 ab	4038,99 a	12307,14 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según test de Tukey.

Rendimiento en grano

En la Tabla 8 se muestra el rendimiento en grano del cultivo de los diferentes niveles de riego y de fertilización, con el promedio por cada nivel de riego y en la Tabla 9 se muestra el rendimiento en grano del cultivo promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 8: Rendimiento en grano para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
R0	F1	13191,58
	F2	13921,60
	Promedio	13556,59 ab
R1	F1	13990,01
	F2	14449,99
	Promedio	14220,00 b
R2	F1	12783,49
	F2	14276,43
	Promedio	13529,96 ab
R3	F1	12973,93
	F2	12518,48
	Promedio	12746,21 ab
R4	F1	11424,22
	F2	13190,07
	Promedio	12307,14 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Tukey.

Tabla 9: Rendimiento en grano para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
F1	12872,65 a
F2	13671,31 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Tukey.

En la Tabla 8 se observa que el rendimiento en grano en el nivel de riego R0 (más regado), mantenido cerca de capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo, fue de 1249,45 kg ha⁻¹ superior (representando un 10 %) al rendimiento en R4 (menos regado), observándose la mayor diferencia entre R1, nivel con el mayor rendimiento de todos y R4, nivel con el menor rendimiento de todos, siendo el rendimiento en el primero un 16 % superior (1912,86 kg ha⁻¹) al segundo. La menor diferencia se presenta entre los niveles R0 y R2, siendo el primero 26,63 kg ha⁻¹ superior al segundo. En la Tabla 9 se observa que el rendimiento en el nivel de fertilización F2 (fertilización nitrogenada repartida entre siembra y estadio V6) es

superior en un 6 % (798,66 kg ha⁻¹) al rendimiento en el nivel F1 (fertilización nitrogenada completa en el estadio V6).

En el análisis de varianza se presentaron diferencias estadísticas significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego (p= 0,0399) y entre niveles de fertilización (p= 0,0016) en cuanto al rendimiento en grano, con una confiabilidad del 68 % (R²) y un coeficiente de variación (CV) de 11,42 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización (p= 0,5164), actuando en forma independiente para la variable rendimiento en granos (Tabla 6 Anexo).

Se realizó un análisis de comparación de medias con el test de Tukey (Tabla 6 Anexo), donde se observó diferencia estadística significativa sólo entre los niveles R1 y R4. Los demás niveles de riego no presentaron diferencias significativas. En cuanto a los niveles de fertilización se encontró diferencia estadística significativa entre ambos, como indica al análisis de varianza, ya que eran sólo dos niveles de este factor (Tabla 6 Anexo).

En la Figura 5 pueden observarse en forma gráfica los rendimientos promedios en grano obtenidos en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

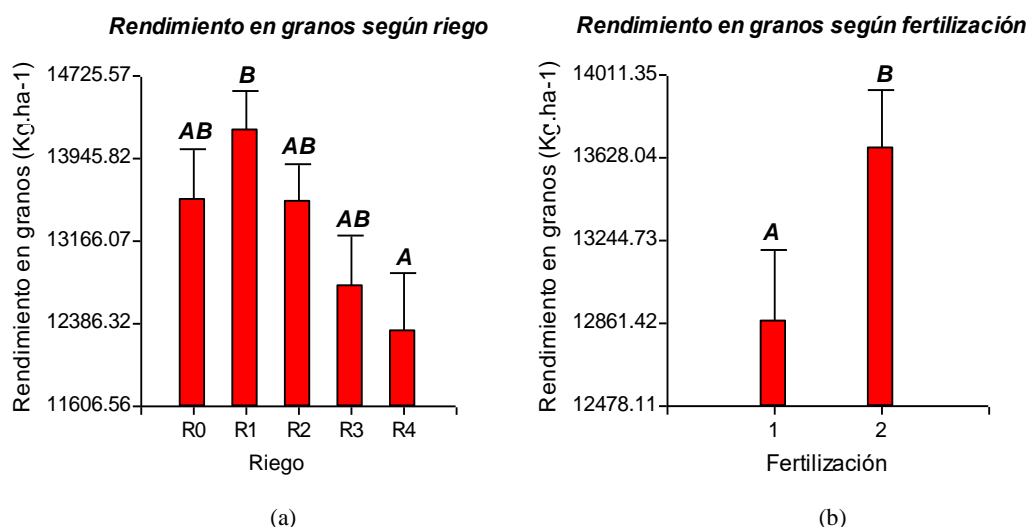


Figura 5: Rendimiento promedio en grano (kg ha⁻¹) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b). Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05), según test de Tukey.

Rendimientos similares se obtuvieron en Manfredi, Provincia de Córdoba (Piatti, 2002), de 14500 kg ha⁻¹ en cultivos bajo riego y entre 8000 y 10000 kg ha⁻¹ en secano, en lotes sembrados con el híbrido NIDERA AX 882 (híbrido muy similar al utilizado en este ensayo). Este último híbrido en el sur de la Provincia de Buenos Aires, rindió entre 10000 a 13400 kg ha⁻¹ cultivados en secano, pero con un promedio de 550 mm de precipitación (Weilenmann de Tau *et*

al., 2002). En otro ensayo similar al anterior, en Balcarce, con el mismo híbrido utilizado en el presente ensayo, se obtuvieron rendimientos promedios de 10002 kg ha⁻¹, con un promedio de 440 mm de precipitación durante el ciclo del cultivo (EEA INTA Balcarce, 2003).

Rivetti (2004) y Puiatti *et al.* (2006), en ensayos similares al presente, observaron rendimientos superiores, entre 14757 kg ha⁻¹ y 16158 kg ha⁻¹ en el primer ensayo y entre 15799 kg ha⁻¹ y 17502 kg ha⁻¹ en el segundo, mostrando en ambos casos diferencia significativa al riego cuando se comparan con un testigo sin riego, de menor rendimiento. Entre los tratamientos con riego no encontraron diferencias significativas, mencionando que estos resultados pudieron deberse a que todos tuvieron buena provisión de agua en floración (período crítico), etapa en la que se define el rendimiento.

En otro ensayo, Puiatti *et al.* (2008) observaron resultados similares a los anteriores, con diferencia estadística entre tratamientos con riego y el sin riego, obteniendo 18186 kg ha⁻¹ en el tratamiento más regado.

Alzugaray (2009) en un ensayo con iguales tratamientos que el presente, el mismo híbrido y en la campaña 2007/2008 en Rio Cuarto, observó diferencia estadística entre los niveles de riego, con rendimientos inferiores, entre 10829,6 kg ha⁻¹ y 12372 kg ha⁻¹ en el nivel con mayor riego.

Los efectos sobre el rendimiento fueron distintos en cuanto al momento de aplicación del fertilizante (Tabla 9). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Barraco y Díaz-Zorita (2003) en experiencias realizadas en la EEA Gral. Villegas, donde se observó una mayor eficiencia de utilización del N (producción de grano adicional/dosis de N aplicada) con aplicaciones de N al momento de la siembra.

Los anteriores autores, junto con Gudelj *et al.* (2003) en seis ensayos de fertilización en el cultivo de maíz en siembra directa sobre lotes de diferente historia agrícola de la EEA INTA Marcos Juárez y Gudelj *et al.* (2005) sobre diferentes ensayos de fertilización en maíz en siembra directa en distintas localidades del país, mencionan que la disponibilidad de nitrógeno (N) al momento de la siembra puede ser baja debido a la extracción del nutriente por cultivos antecesores y a la agricultura continua, sumado a la práctica de la siembra directa y al alto potencial de rendimiento de los híbridos actuales. Considerando esto, podría explicarse la diferencia de rendimiento a favor del nivel de fertilización F2 en el presente ensayo.

Estos autores, junto con Barraco y Díaz-Zorita (2005) en ensayos sobre momentos y dosis de aplicación de N en maíz sobre Hapludoles típicos en General Villegas, también mencionan sobre las posibles pérdidas por lavado o lixiviación y desnitrificación del N aplicado con la fertilización, sobre las que inciden varios factores, entre los que se destacan la textura de suelo,

cantidad de N aplicado, momento de aplicación, humedad del suelo en el momento de la aplicación y precipitaciones que ocurran luego de la misma. En relación a esto, podría mencionarse que, en el presente trabajo, durante las primeras cinco semanas desde la siembra (anterior a la aplicación de urea en V6) las precipitaciones fueron bajas, 41 mm (Figura 3), aplicándose sólo un riego de 25 mm en todos los niveles y ocurriendo escasas a nulas percolaciones (Tabla 5), por lo cual las pérdidas por lixiviación y desnitrificación del N aplicado en F2 entre siembra y estadio V6, debieron resultar bajas. Por lo tanto, podría decirse que el cultivo tuvo buena disponibilidad de este nutriente para su captación y acumulación temprana en la biomasa aérea.

En cambio, luego de la aplicación de urea en V6 ocurrieron mayores precipitaciones (Figura 3) realizándose entre las semanas 6 y 8 de 2 a 4 riegos de 25 mm en los distintos niveles, ocurriendo mayores percolaciones alrededor de este período (Tabla 5). Esto pudo haber resultado en mayores pérdidas por lixiviación y desnitrificación del N aplicado con la fertilización en V6 (única realizada en F1), existiendo, por lo tanto, menor disponibilidad del mismo para el cultivo, siendo este el período donde aumentan los requerimientos de N (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

Cabe aclarar que las pérdidas de N mencionadas anteriormente no fueron determinadas en este ensayo, sino que sólo se trató de analizar la posible ocurrencia de las mismas en los momentos y condiciones presentadas y su posible efecto sobre los resultados obtenidos.

Por otra parte, los resultados de este ensayo difieren con los obtenidos por Barraco y Díaz-Zorita (2004) y Barraco y Díaz-Zorita (2005), quienes muestran resultados similares en la producción de grano en aplicaciones a la siembra o en estadios de V6.

Alzugaray (2009), en un ensayo con los mismos niveles de fertilización que el presente, no obtuvo diferencias significativas entre ellos, mencionando que pudo deberse a escasas pérdidas de N por lixiviación entre el período siembra-V6 y a la captación y acumulación temprana de N en la biomasa aérea del cultivo.

También difieren de los encontrados por Ferrari *et al.*, (2001) en suelos de texturas similares, en los que las aplicaciones en V6 resultaron en mayores rendimientos que las realizadas en el momento de la siembra.

Se realizó un análisis descriptivo de la variable “rendimiento en grano”. Los diagramas de caja que se presentan a continuación (Figura 6: a y b) ilustran cada uno de los niveles de riego y fertilización respecto al rendimiento en grano. En la Figura 6 (a) se observa que la mayor amplitud está dada en el nivel de riego R4, siendo R3 el único que posee valores extremos y donde más se alejan la mediana de la media aritmética o promedio y teniendo una amplitud

similar a R0. Los niveles con menor amplitud y más homogéneos son R1 y R2, teniendo una mediana similar al promedio, al igual que lo que ocurre con los demás niveles, excepto R3. En la Figura 6 (b) se observa que el nivel de fertilización F1 (1) es el que presenta mayor amplitud, siendo similar al nivel de fertilización F2 (2) en cuanto a homogeneidad y diferencia entre mediana y promedio. Ambos niveles no presentan valores extremos.

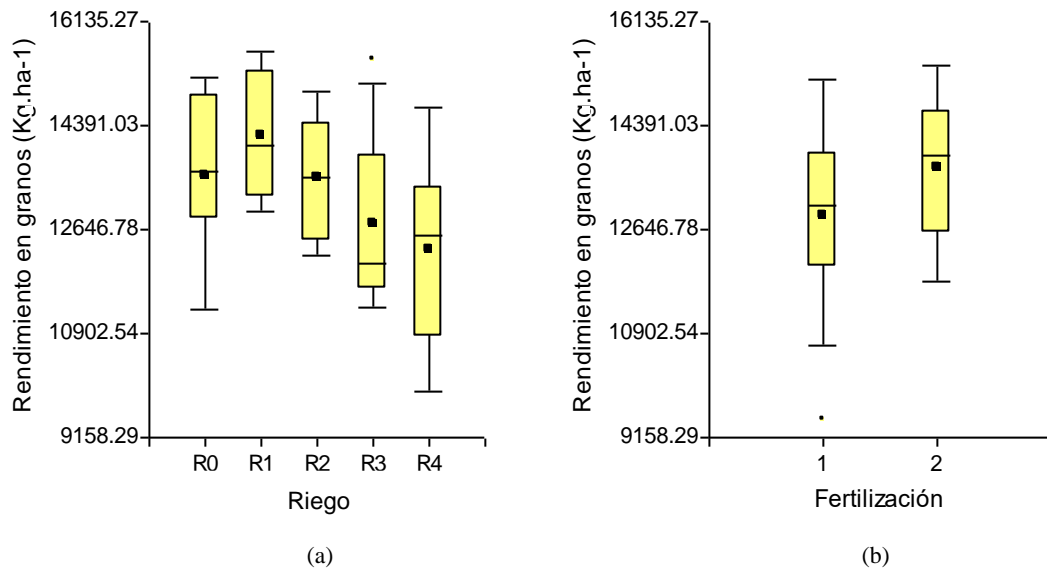


Figura 6: Diagramas de caja de rendimiento en granos (kg ha^{-1}) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Número de granos por m^2

El número de granos m^{-2} está en función del número de granos por espiga y del número de espigas m^{-2} . El número de plantas al momento de la cosecha fue de 8,5 plantas m^{-2} para todos los tratamientos, obteniéndose una espiga por planta.

En la Tabla 10 se muestra el número de granos m^{-2} de los diferentes niveles de riego y de fertilización, con el promedio por cada nivel de riego y en la Tabla 11 se muestra el número de granos m^{-2} promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 10: Número de granos m^{-2} para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Número de granos m^{-2}
R0	F1	3864,53
	F2	4103,38
	Promedio	3983,95 a
R1	F1	3848,16
	F2	3887,05
	Promedio	3867,61 a
R2	F1	3805,88
	F2	4250,85
	Promedio	4028,36 a
R3	F1	4047,49
	F2	3944,00
	Promedio	3995,74 a
R4	F1	3890,45
	F2	4187,53
	Promedio	4038,99 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 11: Número de granos m^{-2} para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Número de granos m^{-2}
F1	3891,30 a
F2	4074,56 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

El análisis de varianza no arrojó diferencias estadísticamente significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p = 0,9624$) ni entre niveles de fertilización ($p = 0,2502$), con una confiabilidad del 74 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 12,07 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p = 0,7308$), actuando en forma independiente para esta variable (Tabla 7 Anexo).

Como se puede observar en las Tablas 10 y 11, el número de granos m^{-2} promedio entre todos los tratamientos es de 3982,93 granos m^{-2} .

En la Figura 7 se puede observar gráficamente el número de granos m^{-2} promedio para cada nivel de riego (a) y nivel de fertilización (b).

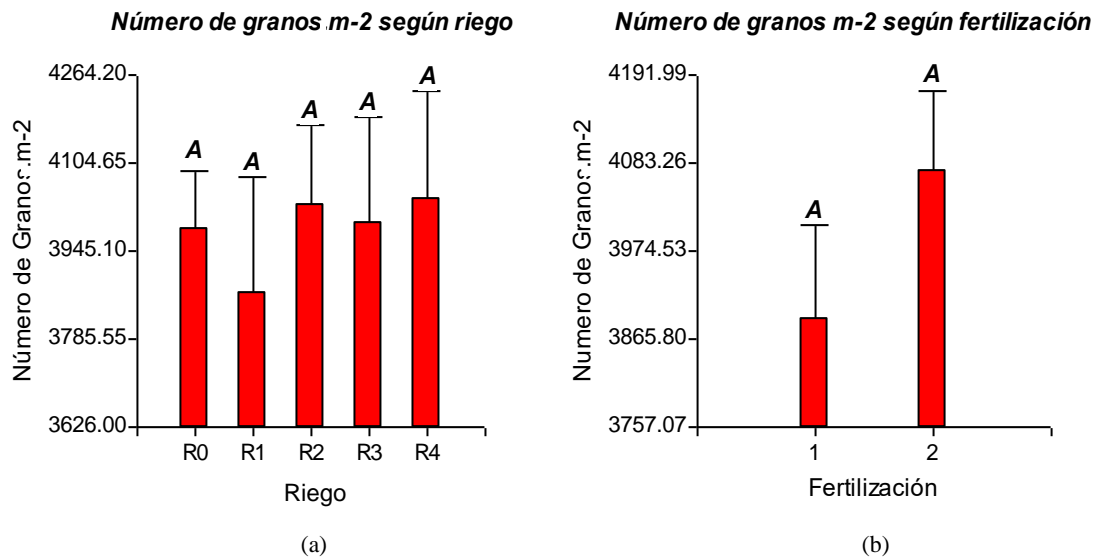


Figura 7: Número de granos m^{-2} en cada nivel de riego (a) y fertilización (b). Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Rivetti (2004), Puiatti *et al.* (2006) y Puiatti *et al.* (2008) tampoco obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de riego en cuanto a número de granos m^{-2} , aunque sí entre tratamientos de riego y el testigo sin riego, salvo en los terceros, donde no hubo diferencia significativa entre el tratamiento menos regado y el testigo sin riego. Rivetti (2004) y Puiatti *et al.* (2008) obtuvieron valores similares al de este ensayo, entre 4116 y 4368 granos m^{-2} y entre 3802,8 y 4257,2 granos m^{-2} respectivamente, en los tratamientos con riego. Valores superiores fueron obtenidos por Puiatti *et al.* (2006), quienes obtuvieron entre 5645 y 5906 granos m^{-2} , correspondientes al tratamiento menos y más regado respectivamente.

Alzugaray (2009) tampoco obtuvo diferencias estadísticas significativas en el número de granos m^{-2} entre los distintos niveles de riego y fertilización, con valores muy similares a los de este ensayo, entre 3837,6 y 4065,6 granos m^{-2} .

Por el contrario Pandey *et al.* (2000) encontraron que cuando no regaban en 4 o más fases (vegetativas + reproductivas) del ciclo del cultivo, se reducía el número de granos entre 20 y 50 % comparados con el tratamiento control regado en todo el ciclo. A su vez, Otegui *et al.* (1995) encontraron que disminuía el número de granos m^{-2} cuando disminuía el agua disponible para evapotranspiración, no coincidiendo con los resultados de este ensayo.

El número de granos por unidad de superficie queda determinado durante el período alrededor de floración (15 días antes y hasta 15-20 días posteriores a la floración, período crítico de determinación de rendimiento en el cultivo de maíz), por lo tanto, en ese momento, el cultivo debería tener óptimas condiciones ambientales, agua y nutrientes para disminuir el porcentaje de

abortos y, como consecuencia, aumentar el número de espiguillas fértiles y disminuir los abortos de flores fecundadas, según mencionan Andrade *et al.* (1996) y Satorre *et al.* (2003).

La falta de diferencia significativa en el número de granos m^{-2} entre los distintos niveles de riego obtenida en este ensayo, puede deberse entonces a que probablemente no se produjo déficit de agua en el período crítico del cultivo (entre fines de la semana 9 y mediados de la semana 14), ya que el mismo recibió buenas precipitaciones en este período, las cuales fueron de 183 mm (Figura 3), siendo las precipitaciones efectivas de 174 mm (Tabla 5). Puede observarse también en la Tabla 5, que sólo en dos niveles se aplicó riego durante dicho período (R0 y R1), debido a las precipitaciones ocurridas y a su efecto en el balance de agua del suelo, pudiendo mantener el cultivo una ETc promedio cercana a los 38 mm por semana durante su período crítico, con valores entre 32,89 y 41,35 mm.

La falta de diferencia estadística significativa entre niveles de fertilización nitrogenada, sugiere además que el cultivo no debió sufrir deficiencias de nitrógeno, principalmente desde V6, estadio donde aumentan los requerimientos del mismo, estando el cultivo, en los distintos tratamientos, en similares condiciones y estado fisiológico durante su período crítico (alrededor de floración), momento decisivo para la determinación del número de granos m^{-2} (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

Lo que se acaba de exponer no coincide con lo analizado anteriormente para el rendimiento en grano, donde, como ya se explicó, sí se encontró diferencia estadística significativa entre niveles de riego y fertilización, lo cual no estaría en concordancia con lo que mencionan Andrade *et al.* (1996), Satorre *et al.* (2003) y Echarte *et al.* (2006), quienes afirman que el número de granos m^{-2} es el componente que más influye en la determinación del rendimiento, por lo que las variaciones en el primero deberían explicar las variaciones en el segundo.

Cabe recordar aquí, que el rendimiento en grano ($kg\ ha^{-1}$) fue estimado en función del peso de muestras de las distintas parcelas de cada tratamiento, por lo que probablemente se deba a esto que el número de granos m^{-2} no explique el rendimiento en grano.

Si se analizan los diagramas de caja para el número de granos m^{-2} (Figura 8), se puede observar en cuanto al nivel de riego (Figura 8 a), que el que presenta menor variabilidad es R0. El nivel de riego con mayor variabilidad es el nivel R1, siendo el único que posee valores extremos. Los niveles R2 y R4 presentan la mayor diferencia entre la mediana y el promedio, siendo en los demás bastante similares. En la Figura 8 (b) se observa que el nivel de fertilización F1 (1) presenta mayor variabilidad y es donde más se aleja la mediana del promedio, siendo este

último similar, aunque levemente inferior (5 %), al del nivel F2 (2), presentando ambos niveles valores extremos.

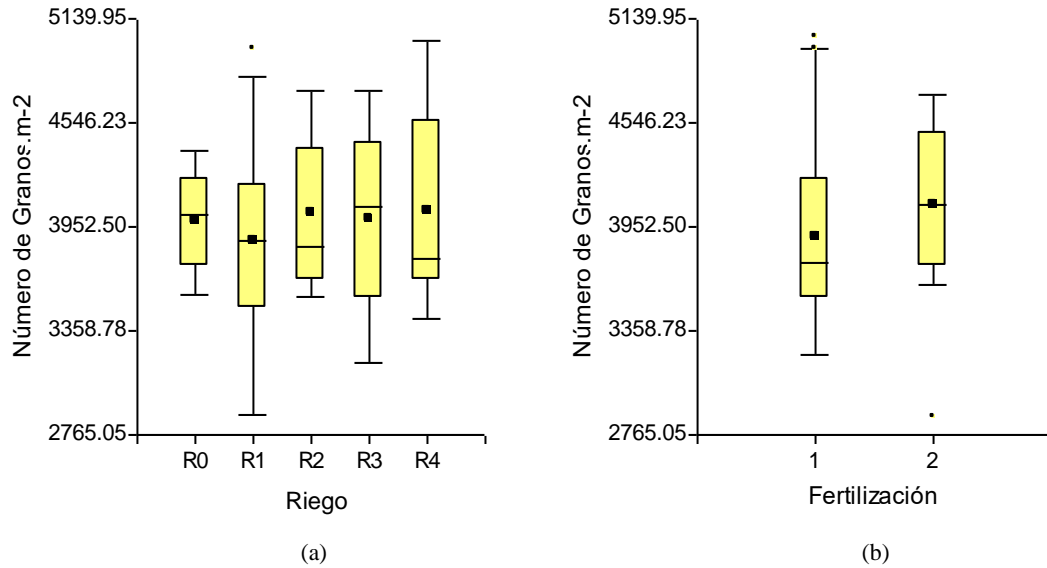


Figura 8: Diagramas de caja de número de granos m⁻² en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Número de hileras por espiga

En la Tabla 12 se muestra el número de hileras espiga⁻¹ de los diferentes niveles de riego y de fertilización, con el promedio por cada nivel de riego y en la Tabla 13 se muestra el número de hileras espiga⁻¹ promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 12: Número de hileras espiga⁻¹ para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Número de hileras espiga ⁻¹
R0	F1	13,00
	F2	14,10
	Promedio	13,55 a
R1	F1	12,70
	F2	13,00
	Promedio	12,85 a
R2	F1	12,40
	F2	12,80
	Promedio	12,60 a
R3	F1	13,70
	F2	13,40
	Promedio	13,55 a
R4	F1	12,80
	F2	13,00
	Promedio	12,90 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 13: Número de hileras espiga⁻¹ para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Número de hileras espiga ⁻¹
F1	12,92 a
F2	13,26 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

El análisis de varianza dio como resultado que no hay diferencias estadísticamente significativas, a un nivel del 5 %, entre los niveles de riego ($p= 0,3981$) ni entre niveles de fertilización ($p= 0,4970$), con una confiabilidad del 72 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 9,06 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p= 0,7714$), actuando en forma independiente (Tabla 8 Anexo).

Como se puede observar en las Tablas 12 y 13, el número de hileras espiga⁻¹ promedio entre todos los tratamientos es de 13,09 hileras espiga⁻¹.

En la Figura 9 se puede observar gráficamente el número de hileras espiga⁻¹ promedio para cada nivel de riego (a) y nivel de fertilización (b).

Número de hileras por espiga según riego **Número de hileras por espiga según fertilización**

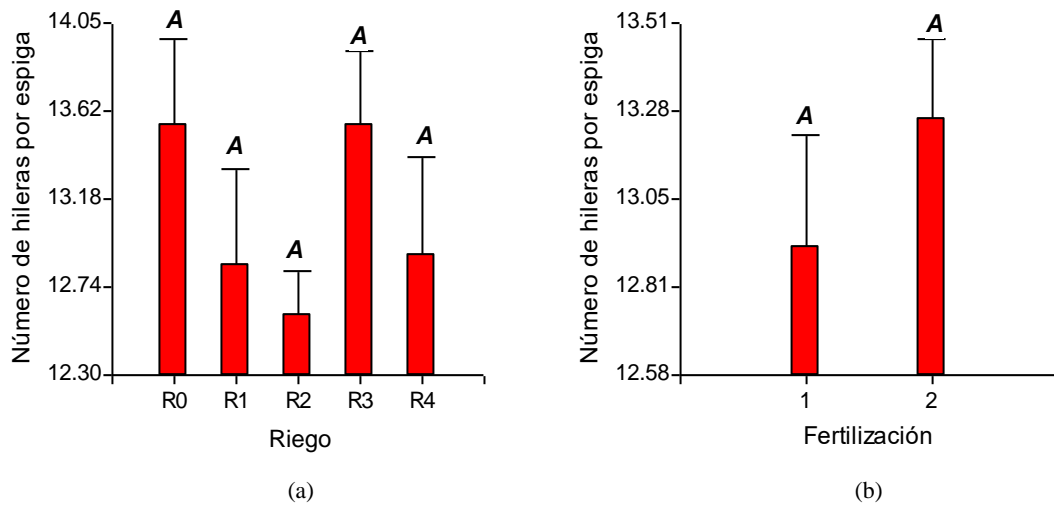


Figura 9: Número de hileras espiga⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b). Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Como puede observarse en los diagramas de caja (Figura 10) en todos los niveles de riego (a) y de fertilización (b) se presentan valores extremos, con distintos grados de variabilidad. En los niveles de riego R0 y R3, los de mayor promedio, se presenta la mayor diferencia entre este último y la mediana, siguiéndoles R4 y ocurriendo en R1 y R2 la situación contraria, es decir, una mayor similitud entre ambos estadísticos (Figura 10 a). El nivel de fertilización con el promedio más cercano a la mediana es F1 (1), teniendo F2 (2) el mayor promedio de ambos (Figura 10 b).

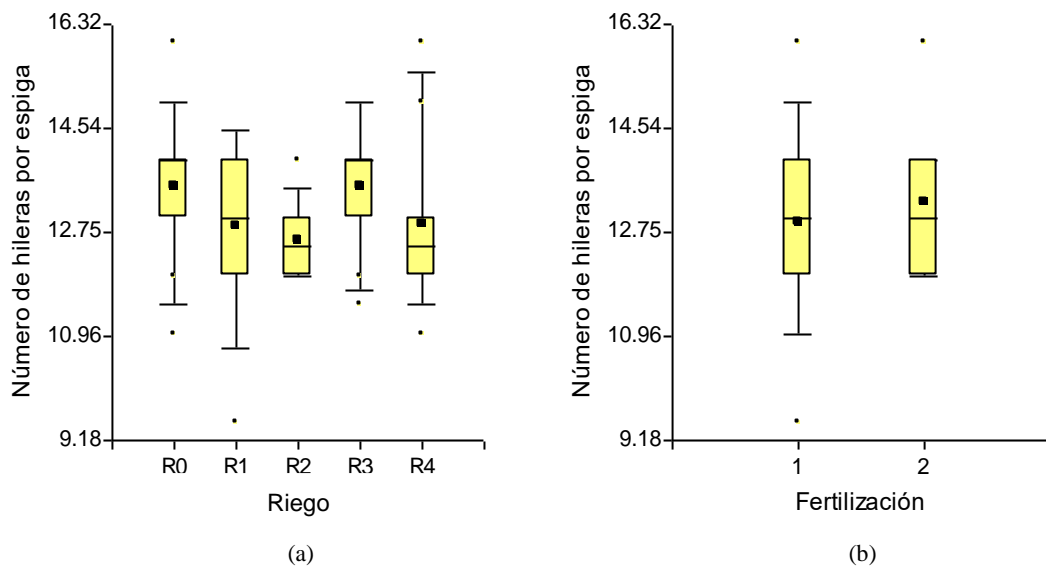


Figura 10: Diagramas de caja de número de hileras espiga⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Número de granos por hilera

En la Tabla 14 se muestra el número de granos hilera⁻¹ de los diferentes niveles de riego y de fertilización, con el promedio por cada nivel de riego y en la Tabla 15 se muestra el número de granos hilera⁻¹ promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 14: Número de granos hilera⁻¹ para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Número de granos hilera ⁻¹
R0	F1	35,10
	F2	34,30
	Promedio	34,70 a
R1	F1	35,55
	F2	35,20
	Promedio	35,38 a
R2	F1	36,10
	F2	39,00
	Promedio	37,55 a
R3	F1	34,60
	F2	34,70
	Promedio	34,65 a
R4	F1	35,70
	F2	37,85
	Promedio	36,78 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 15: Número de granos hilera⁻¹ para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Número de granos hilera ⁻¹
F1	35,41 a
F2	36,21 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

El análisis de varianza dio como resultado que no hay diferencias estadísticamente significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p = 0,2355$) ni entre niveles de fertilización ($p = 0,2819$), con una confiabilidad del 75 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 8,10 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p = 0,5499$), actuando en forma independiente (Tabla 9 Anexo).

Como se puede observar en las Tablas 14 y 15, el promedio del número de granos hilera⁻¹ entre todos los tratamientos es de 35,81 granos hilera⁻¹.

En la Figura 11 se puede observar gráficamente el número de granos hilera⁻¹ promedio para cada nivel de riego (a) y nivel de fertilización (b).

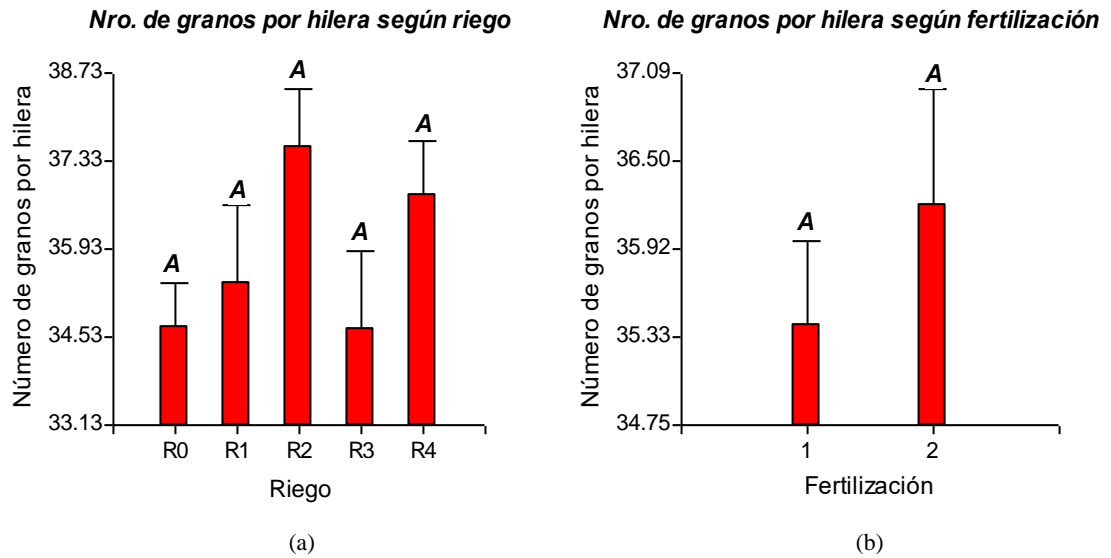


Figura 11: Número de granos hilera⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b). Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

En los diagramas de caja de la Figura 12 (a) se puede observar que el nivel de riego con mayor variabilidad es R1, siendo el único que posee valores extremos y ubicándose la mediana y el promedio más cerca de los valores superiores. Los niveles más homogéneos son R2 y R4, presentando similares mediana y promedio entre y dentro de los mismos y siendo los de mayor promedio. Los demás niveles de riego presentan promedios similares. Observando los diagramas de caja de la Figura 12 (b) ambos niveles de fertilización presentan valores extremos, siendo más homogéneo el nivel F1 (1) y con mayor similitud entre mediana y promedio, resultando este último similar al del nivel F2 (2).

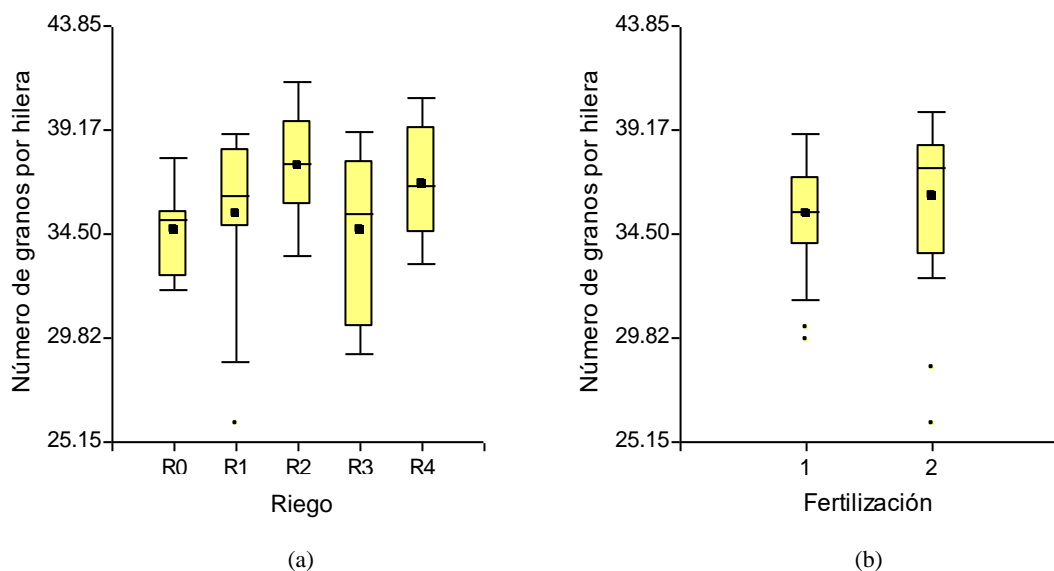


Figura 12: Diagramas de caja de número de granos hilera⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Número de granos por espiga

En la Tabla 16 se muestra el número de granos espiga⁻¹ de los diferentes niveles de riego y de fertilización, con el promedio por cada nivel de riego y en la Tabla 17 se muestra el número de granos espiga⁻¹ promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 16: Número de granos espiga⁻¹ para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Número de granos espiga ⁻¹
R0	F1	454,65
	F2	482,75
	Promedio	468,70 a
R1	F1	452,73
	F2	457,30
	Promedio	455,01 a
R2	F1	447,75
	F2	500,10
	Promedio	473,93 a
R3	F1	476,18
	F2	464,00
	Promedio	470,09 a
R4	F1	457,70
	F2	492,65
	Promedio	475,18 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 17: Número de granos espiga⁻¹ para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Número de granos espiga ⁻¹
F1	457,80 a
F2	479,36 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

El análisis de varianza dio como resultado que no hay diferencias estadísticamente significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p = 0,9624$) ni entre niveles de fertilización ($p = 0,2502$), con una confiabilidad del 74 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 12,07 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p = 0,7308$), actuando en forma independiente (Tabla 10 Anexo).

Como se puede observar en las Tablas 16 y 17, el número de granos espiga⁻¹ promedio entre todos los tratamientos es de 468,58 granos espiga⁻¹.

En la Figura 13 se puede observar gráficamente el número de granos espiga⁻¹ promedio para cada nivel de riego (a) y nivel de fertilización (b).

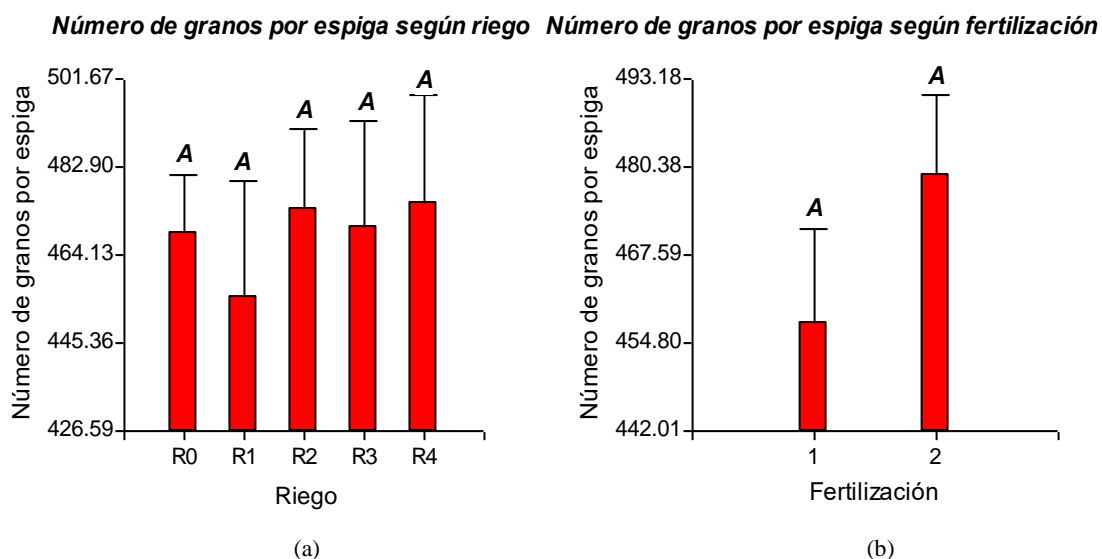


Figura 13: Número de granos espiga⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b). Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Si se analizan los diagramas de caja para el número de granos espiga⁻¹ (Figura 14), se puede observar en cuanto al nivel de riego (Figura 14 a), que el que presenta menor variabilidad es R0. El nivel de riego con mayor variabilidad es el nivel R1, siendo el único que presenta valores extremos. Los niveles R2 y R4 presentan la mayor diferencia entre la mediana y el promedio, siendo en los demás bastante similares. En la Figura 14 (b) se observa que el nivel de

fertilización F1 (1) presenta mayor variabilidad y es donde más se aleja la mediana del promedio, siendo este último similar, aunque levemente inferior (5 %), al del nivel F2 (2), presentando ambos niveles valores extremos.

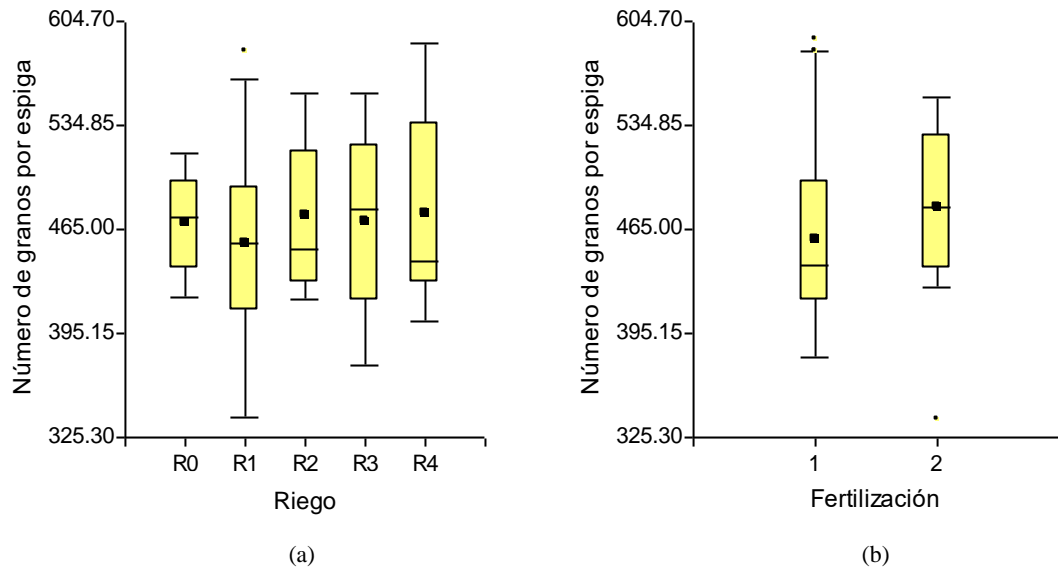


Figura 14: Diagramas de caja de número de granos espiga⁻¹ en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Peso de los 1000 granos

El peso medio de los granos depende de una sucesión de etapas a partir de la fecundación del ovario. La primer fase de llenado del grano, que coincide con el período de cuaje (R2), es comúnmente denominada fase “lag”, que corresponde a un período formativo, de lenta acumulación de biomasa en el grano, estableciéndose el número de células endospermáticas y empiezan a formarse los posibles lugares para la deposición del almidón, los amiloplastos, siendo la fase donde se comienza a determinar el peso potencial del grano. Luego continúa una segunda fase, denominada de llenado efectivo, donde ocurre más del 80-90 % del incremento de peso, pasando aquí el grano por los estados lechoso (R3) y pastoso (R4). Luego en una tercera fase, durante grano dentado (R5), la tasa de llenado disminuye progresivamente hasta hacerse nula y existe una activa pérdida de humedad. La acumulación de materia seca en los granos cesa en madurez fisiológica (R6), definida por la formación de una capa negra de abscisión en la base del grano (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

Variaciones en el peso medio de los granos pueden ser explicadas mediante la duración del período efectivo de llenado y por la tasa de llenado durante este período. La tasa de llenado

se puede incrementar con la temperatura, acompañado por un acortamiento en la duración del período efectivo de llenado, dando como resultante una reducción en el peso final de los granos (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

La senescencia foliar también afecta el peso de los granos ya que al haber menor área foliar fotosintéticamente activa disminuye la fuente de fotoasimilados y la eficiencia de partición de los mismos hacia los granos. Una sequía durante el llenado de granos también puede disminuir el peso de los mismos, dado por una reducción de la tasa fotosintética y el aumento de la senescencia foliar, disminuyendo la asimilación total. Si la deficiencia hídrica ocurre durante la primera fase de llenado, afecta reduciendo su duración y si ocurre durante el período efectivo de llenado de granos, disminuye la cantidad de asimilatos disponible por grano, ocurriendo en estos casos la disminución del peso final de los granos (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

En la Tabla 18 se muestra el peso de los 1000 granos de los diferentes niveles de riego y de fertilización, con el promedio por cada nivel de riego y en la Tabla 19 se muestra el peso de los 1000 granos promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 18: Peso de los 1000 granos (g) para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Peso de los 1000 granos (g)
R0	F1	377,14
	F2	354,20
	Promedio	365,67 a
R1	F1	402,71
	F2	402,36
	Promedio	402,54 b
R2	F1	390,03
	F2	381,26
	Promedio	385,65 ab
R3	F1	378,89
	F2	349,90
	Promedio	364,39 a
R4	F1	378,97
	F2	359,64
	Promedio	369,30 ab

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Tukey.

Tabla 19: Peso de los 1000 granos (g) para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Peso de los 1000 granos (g)
F1	385,55 b
F2	369,47 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Tukey.

En el análisis de varianza se presentaron diferencias estadísticas significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p= 0,0174$) y entre niveles de fertilización ($p= 0,0040$), con una confiabilidad del 81 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 5,42 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p= 0,5513$), actuando en forma independiente para esta variable (Tabla 11 Anexo).

Se realizó un análisis de comparación de medias con el test de Tukey (Tabla 11 Anexo), donde se observó diferencia estadística significativa sólo entre los niveles R3 y R0 con respecto a R1. Los demás niveles de riego no presentaron diferencias significativas. En cuanto a los niveles de fertilización se encontró diferencia estadística significativa, lo cual ya había sido observado en el análisis de varianza, dado que eran sólo dos niveles de este factor (Tabla 11 Anexo).

Como puede observarse en la Tabla 18, el peso de los 1000 granos promedio obtenido en el nivel de riego R1 supera en 38,15 y 36,87 gramos al peso en los niveles R3 y R0 respectivamente, representando una diferencia de alrededor del 10 % en ambos casos.

Si se observa la Tabla 19, puede verse que el promedio en el nivel de fertilización F1 es superior en 16,08 gramos al promedio del nivel F2, representando esta diferencia un 4 % y existiendo diferencia estadística significativa entre ambos.

En la Figura 15 puede observarse en forma gráfica el peso de los 1000 granos promedio obtenidos para cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

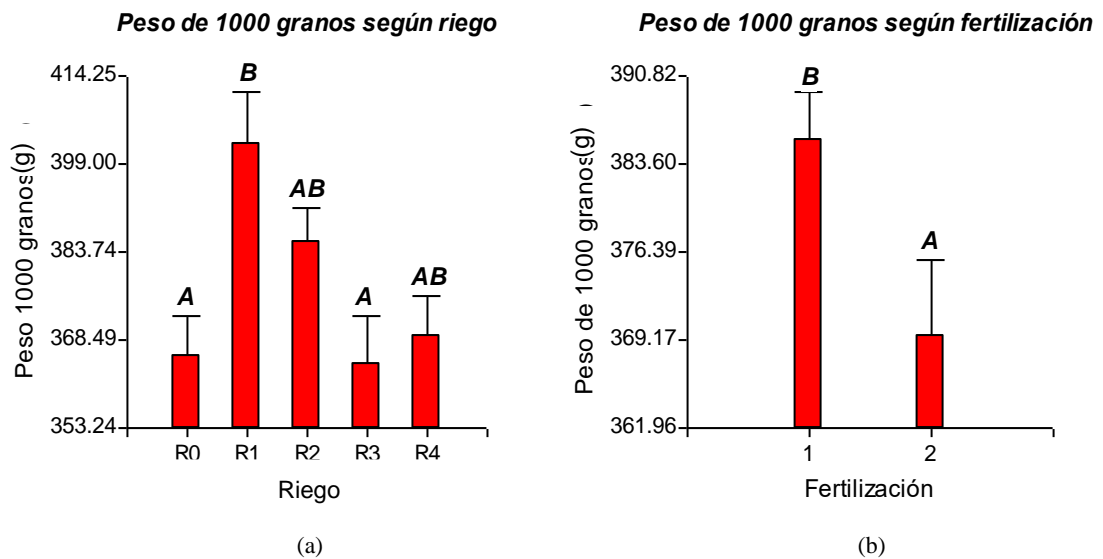


Figura 15: Peso promedio de los 1000 granos (g) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b). Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según test de Tukey.

Como se observa en los diagramas de caja de la Figura 16 (a) el nivel de riego con menor variabilidad es R2, siendo muy similar la mediana al promedio. Los niveles que presentan valores extremos son R0 y R4, con promedios similares entre ellos y al de R3. El nivel de riego R1 presenta una variabilidad similar al nivel R3, con similares diferencias entre mediana y promedio. En la Figura 16 (b) se observa que el nivel de fertilización con mayor variabilidad y que posee más valores extremos es el nivel F2 (2), con una diferencia entre mediana y promedio un poco mayor a la del nivel F1 (1), siendo el promedio de este último superior en un 4 % al del nivel F2 y existiendo diferencia significativa entre ambos.

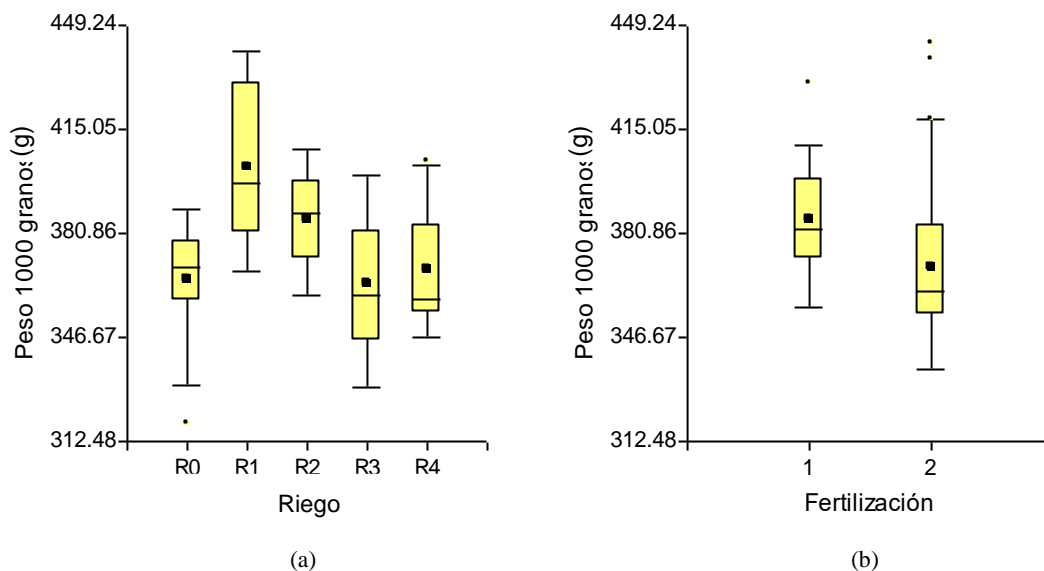


Figura 16: Diagramas de caja de peso de los 1000 granos en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Los resultados obtenidos en el presente ensayo concuerdan en parte con las experiencias de Pandey *et al.* (2000) y Andrade *et al.* (1996), quienes encontraron disminución en el peso del grano cuando provocaban déficit de agua en el cultivo, durante el crecimiento reproductivo y en algunas fases del crecimiento vegetativo. Esto puede evidenciarse a través de los bajos valores en el peso de los 1000 granos obtenidos en los niveles de riego R3 y R4, siendo los dos niveles con menor cantidad de riegos aplicados. Esto coincide con lo observado a campo, donde en los niveles R4 y R3 se produjo una mayor senescencia foliar, disminuyendo así los órganos fotosintéticamente activos, por lo tanto hubo menor disponibilidad de asimilados por grano, sobre todo durante el período efectivo de llenado de los mismos. Como excepción a esto, se encontró el segundo menor peso (después de R3) en el nivel R0, que es el más regado de todos, donde se aplicaron dos riegos más que en R1, siendo este último el nivel con el mayor peso de

todos y con diferencia significativa con R0. En R0 se aplicaron seis riegos más que en R4 (menos regado), nivel que también lo supera en el peso de los 1000 granos y no existiendo diferencia significativa entre ambos.

A excepción de lo ocurrido en R0, donde se encontró un bajo peso de los 1000 granos, el menor peso encontrado en R2, R3 y R4, respecto a R1, se corresponde con lo inverso ocurrido en el número de granos m^{-2} , donde los mayores valores se encontraron en los niveles R2, R3 y R4 y el menor número en R1, aunque no existiendo diferencias significativas entre ellos, lo cual coincide, con las salvedades realizadas, con lo mencionado por Andrade *et al.* (1996) y Satorre *et al.* (2003) sobre la relación inversa entre el número de granos m^{-2} y el peso de los 1000 granos, es decir que aumentos en el primero se corresponden con disminuciones en el segundo y viceversa, debido a la competencia que ejercen los granos, en toda la espiga, como destinos de fotoasimilados durante el llenado de los mismos. A pesar de esto, es importante destacar también, que estos autores mencionan que el maíz presenta una reducida capacidad para compensar un bajo número de granos con mayor peso de los mismos, tornando, esta poca plasticidad en el peso de los granos, más crítica la etapa en la cual se determina el número de granos.

Contrario a lo obtenido en este ensayo, Rivetti (2004) y Puiatti *et al.* (2008) no obtuvieron diferencias significativas para el peso de los 1000 granos entre tratamientos de riego. Puiatti *et al.* (2008) tampoco observaron diferencia significativa entre tratamientos de riego y el testigo sin riego, obteniendo un promedio general de 424,58 gramos, mientras que Rivetti (2004) sí observó diferencia significativa entre tratamientos regados y sin riego, obteniendo un promedio de 383 y 268 gramos, respectivamente.

Según estos autores, los resultados obtenidos se debieron a la buena disponibilidad de agua por los riegos más las precipitaciones, ya que éstas durante el ciclo fueron superiores a las medias normales de la zona.

Puiatti *et al.* (2006) obtuvieron diferencia significativa sólo entre el tratamiento más regado y el testigo sin riego.

Alzugaray (2009) obtuvo un promedio entre niveles de riego de 352,98 gramos, inferior a los valores en todos los niveles de riego de este ensayo, no obteniendo diferencias significativas en cuanto al riego, mencionando que estos resultados pueden explicarse debido a que el cultivo no sufrió déficit hídrico en el período de llenado de granos, ni durante su período crítico.

El mayor peso de los 1000 granos del nivel de fertilización F1, sugiere que el cultivo tuvo mejor disponibilidad de nitrógeno para el llenado de los granos con la fertilización completa en el estadio V6 (F1) que con la fertilización repartida entre siembra y V6 (F2). Por lo cual,

siguiendo a Andrade *et al.* (1996), el cultivo con el nivel F1, probablemente, afrontó el período de llenado de granos con mejor fuente fotosintética disponible, dado por una mayor cantidad de radiación interceptada (debido a una mayor duración del área foliar) y mejor eficiencia de conversión (por mayor tasa fotosintética) durante dicho período y con una mayor partición de biomasa acumulada hacia granos durante el período de llenado de los mismos. Otro efecto del nitrógeno que puede explicar esta diferencia, puede ser la disminución del número de células endospermáticas y gránulos de almidón determinados en posfloración temprana (fase “lag”) en el nivel F2.

Cabe recordar aquí lo explicado cuando se analizó el rendimiento en grano, donde se mencionan mayores pérdidas de nitrógeno durante el período posterior a V6, las cuales, en cuanto al peso de los granos, debieron afectar más en el nivel de fertilización F2, dado que en éste se aplicó menos fertilizante nitrogenado en V6 (200 kg ha⁻¹ de urea en F2, contra los 300 kg ha⁻¹ de urea en F1).

Considerando otra posibilidad que explique esta diferencia en el peso de los 1000 granos, según Andrade *et al.* (1996) y Satorre *et al.* (2003), puede decirse que el número de granos m⁻² en el nivel F2 fue superior en un 5 % al del nivel F1, aunque no existiendo diferencia significativa entre ellos, lo cual puede explicar, al menos en parte, el menor peso de los 1000 granos obtenido en F2, por lo ya mencionado sobre la competencia de destinos (granos) por fotoasimilados, durante el período de llenado de granos.

Alzugaray (2009) no obtuvo diferencia significativa entre niveles de fertilización.

Producción de materia seca aérea total en madurez fisiológica (R6)

La producción de materia seca se determinó solamente en los niveles de riego R0 y R4, con ambos niveles de fertilización.

En la Tabla 20 se muestra la materia seca aérea total producida en madurez fisiológica (R6) en los niveles de riego con ambos niveles de fertilización y el promedio por cada nivel de riego y en la Tabla 21, la materia seca aérea total producida en R6 promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 20: Producción de materia seca aérea total en R6 (kg ha⁻¹) para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Materia seca total en R6 (kg ha ⁻¹)
R0	F1	29942,95
	F2	37888,35
	Promedio	33915,65 a
R4	F1	28259,04
	F2	32027,15
	Promedio	30143,10 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 21: Producción de materia seca aérea total en R6 (kg ha⁻¹) para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Materia seca total en R6 (kg ha ⁻¹)
F1	29101,00 a
F2	34957,75 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según test de Tukey.

En el análisis de varianza no se presentaron diferencias estadísticas significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p= 0,2163$) y si entre niveles de fertilización ($p= 0,0001$) en cuanto a la producción de materia seca total en R6, con una confiabilidad del 97 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 6,44 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p= 0,0863$), actuando en forma independiente para la variable (Tabla 12 Anexo).

Se realizó el análisis de comparación de medias con el test de Tukey (Tabla 12 Anexo), corroborando lo obtenido en el análisis de varianza.

Como se puede observar en la Tabla 20, la producción de materia seca total en R6 en el nivel de riego R0 superó en 3772,55 kg ha⁻¹ a la del nivel R4, representando una diferencia del 12,5 %, aunque no existiendo diferencia estadística significativa entre ambos. En cuanto a los niveles de fertilización, en la Tabla 21 se observa que el nivel F2 supera en 5856,75 kg ha⁻¹ de materia seca total producida en R6, a la del nivel F1, representado esta diferencia un 20 %, existiendo diferencia estadística significativa entre ambos niveles.

En la Figura 17 puede observarse en forma gráfica el promedio de la producción de materia seca total en R6, obtenido por cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

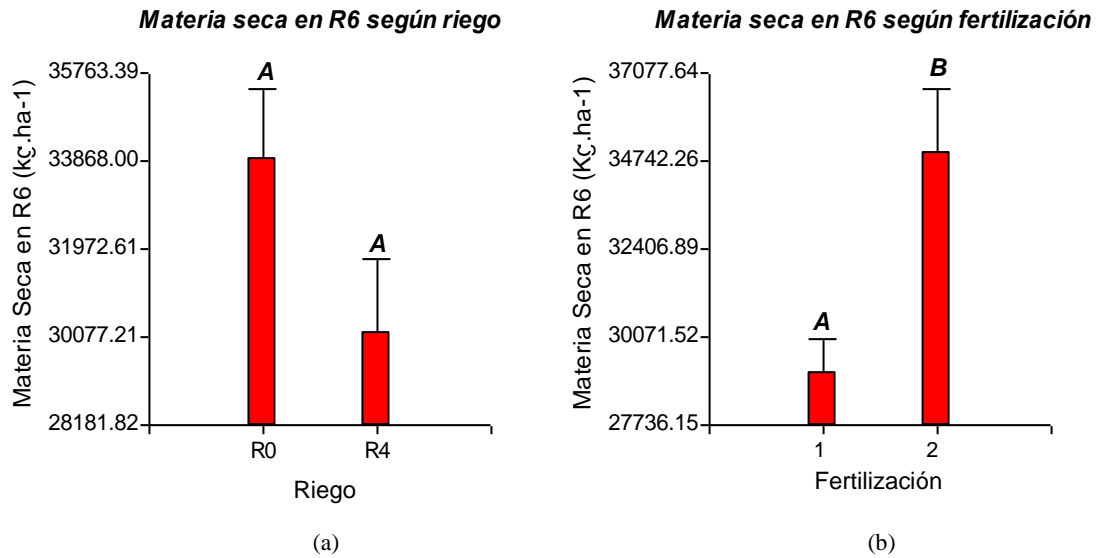


Figura 17: Producción de materia seca total en R6 (kg ha⁻¹) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según test de Tukey.

Como puede observarse en la Figura 18 (a) la producción de materia seca total en R6, en ambos niveles de riego, presenta una variabilidad similar, con medianas cercanas a los promedios y sin presentar valores extremos. En la Figura 18 (b) se puede observar que el nivel de fertilización con mayor variabilidad es F2 (2) y con mayor diferencia entre mediana y promedio que en el nivel F1 (1), presentando ambos niveles valores extremos.

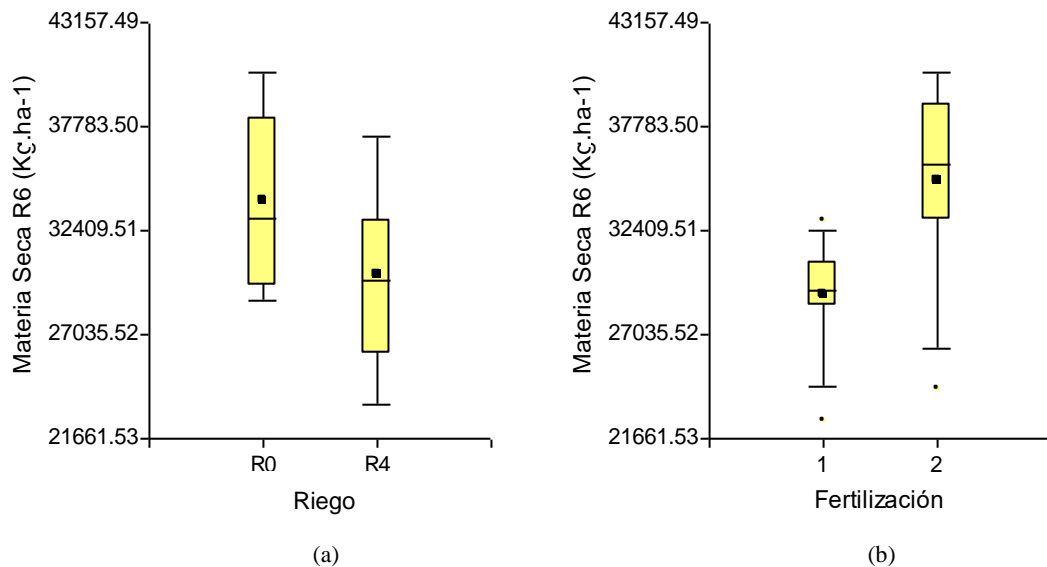


Figura 18: Diagramas de caja de producción de materia seca total en R6 (kg ha⁻¹) en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

El agua disponible es, generalmente, el principal factor que limita el crecimiento y el rendimiento del cultivo en condiciones extensivas. Además, el maíz manifiesta una sensibilidad diferencial a la sequía según la etapa del ciclo considerada. Si la sequía ocurre alrededor de la floración, se producen mermas importantes en el rendimiento en grano, pudiendo, consecuentemente, verse más afectado que la producción de materia seca total aérea, reduciéndose significativamente el índice de cosecha. Debido a esta gran sensibilidad a sequías alrededor de la floración, el maíz presenta alta respuesta al riego complementario durante esta etapa (Andrade *et al.*, 1996).

Los asimilatos utilizados para el crecimiento del cultivo provienen de la fijación fotosintética del CO₂ en los tejidos clorofílicos de las plantas. La apertura estomática permite el ingreso de CO₂ siguiendo un gradiente de concentración desde la atmósfera hacia la cámara subestomática, produciéndose un flujo de agua en estado de vapor en sentido inverso (transpiración). La simultaneidad entre los procesos de transpiración y fijación de CO₂ permite considerar la producción de materia seca de un cultivo en función del agua transpirada y de la eficiencia con que la planta la aprovecha en términos de producción de biomasa, por lo que una deficiencia de agua que produzca una reducción en la transpiración trae aparejada una reducción en la producción de biomasa (Andrade *et al.*, 1996).

Como se analizó anteriormente, en el presente ensayo, no se obtuvo diferencia significativa en la producción de materia seca total entre los niveles de riego, a pesar de la diferencia de 12,5 % a favor del nivel de riego R0, más regado (Tabla 20). Podría decirse que este resultado se debió a que el cultivo no sufrió deficiencia hídrica en el nivel con menor riego (R4), debido a que las precipitaciones durante el ciclo del cultivo fueron de 508 mm (Figura 3), con una precipitación efectiva de 475 mm, más el agua aportada por el riego, de 100 mm en R4 (Tabla 5).

En la Figura 4 A y E, correspondientes a los niveles de riego R0 y R4 respectivamente, puede observarse que el agotamiento del agua en el suelo estuvo por debajo del umbral de riego, durante la mayor parte del ciclo del cultivo, permitiéndole al mismo mantener altas evapotranspiraciones (ET_c) durante su ciclo de crecimiento, incluido el período crítico, por lo que probablemente no ocurrieron deficiencias hídricas que produzcan en el cultivo los efectos mencionados por Andrade *et al.* (1996) y Satorre *et al.* (2003) en cuanto a la producción de materia seca, ni los fenómenos que se llevan a cabo como mecanismos de tolerancia a déficits hídricos. Podría mencionarse que, sobre estos últimos, el cultivo pudo haber tenido un crecimiento y exploración radical diferencial durante su periodo vegetativo, en el nivel de riego R4, generando una absorción radical diferencial del agua en los distintos horizontes del suelo,

permitiéndole mantener durante su ciclo similares ETc a R0, debido a lo cual puede deberse la similitud en sus producciones de materia seca aérea total.

En concordancia con lo obtenido en este ensayo, Militello (2010), en un ensayo similar al aquí presentado, utilizando los mismos niveles de riego, con el mismo híbrido (AX 884 CL de NIDERA) y en Río Cuarto, no obtuvo diferencias significativas en la producción de materia seca aérea total en R6 entre el nivel con menor riego, 22402,45 kg ha⁻¹ promedio y el nivel más regado, con un promedio de 22878,95 kg ha⁻¹, mencionando que este resultado se debió a que la condición hídrica del cultivo no fue limitante, ya que las precipitaciones fueron abundantes durante todo el ciclo del cultivo (540 mm de precipitación efectiva).

Por su parte Puiatti *et al.* (2008) tampoco obtuvieron diferencia significativa en la producción de materia seca en R6 entre tratamientos de riego, con un promedio de 24738,98 kg ha⁻¹, como tampoco entre éstos y el testigo sin riego, en el cual obtuvieron 21205,29 kg ha⁻¹. Los autores mencionan, similar a Militello (2010), que no existió efecto del riego sobre esta variable debido a que la condición hídrica del cultivo no fue limitante, ya que las precipitaciones fueron abundantes durante todo el ciclo (643,55 mm de lluvia efectiva).

Por el contrario, Rivetti (2004) obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos regados, como también entre dos de ellos (los más regados) y el testigo sin riego, con un promedio de 34628 y 30129 kg ha⁻¹ en el tratamiento más y menos regado respectivamente, muy similares a los aquí obtenidos.

Contreras *et al.* (2004), utilizando el híbrido DK 834 MG (Monsanto) con siembra temprana en Corrientes, obtuvieron un incremento del 54,7 % en los tratamientos regados respecto al testigo sin riego, con un promedio de materia seca producida durante el ciclo del cultivo de 27825 kg ha⁻¹ entre tratamientos con riego y 17980 kg ha⁻¹ en el testigo sin riego. Esto se debió a que las precipitaciones en ese ensayo fueron escasas, por lo tanto generaron estrés en el tratamiento testigo.

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). Por su parte, Andrade *et al.* (1996) mencionan que la acumulación de nitrógeno en la parte aérea alcanza valores de 240 a 300 kg ha⁻¹, según el híbrido considerado, con tasas máximas de hasta 3,7 kg ha⁻¹ día⁻¹, que se mantienen prácticamente constantes entre los 25 y los 100 días después de la emergencia, acumulando en el momento de la floración alrededor del 60 % del total de nitrógeno en cosecha.

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).

Como se analizó anteriormente, en cuanto a la materia seca total en R6 producida por el cultivo con los dos niveles de fertilización, la mayor producción se obtuvo en el nivel F2 (fertilización nitrogenada repartida entre siembra y estadio V6), existiendo diferencia estadística significativa con el nivel F1 (fertilización nitrogenada completa en el estadio V6). Esto mismo ocurrió con el rendimiento en grano, donde el mayor valor también se obtuvo en el nivel F2 y con diferencia significativa con F1. Considerando lo anterior, se aplicó aquí, para la producción de materia seca en R6, el mismo análisis sobre las probables causas de la diferencia obtenida en el rendimiento en grano, dado que ambos se correlacionan positivamente, siendo el rendimiento en grano el producto entre la biomasa total producida por el cultivo durante su ciclo de crecimiento y la eficiencia de partición a granos (órganos de cosecha), esta última calculada al final del ciclo del cultivo como índice de cosecha (IC) (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

Mencionado lo anterior, se puede decir entonces que la mayor producción de materia seca total en R6 en el nivel de fertilización F2, se debe probablemente a que el cultivo tuvo mejor disponibilidad de nitrógeno en el suelo desde la siembra, teniendo un mayor crecimiento desde etapas vegetativas tempranas hasta V6, que en el nivel F1. Esto podría deberse a una mayor área foliar alcanzada en este período, produciéndole mayor intercepción de la radiación y mayor eficiencia de conversión de la radiación interceptada, por el mejor ritmo fotosintético debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno mencionada.

El cultivo en estas condiciones, junto a la fertilización nitrogenada en V6, debió llegar en mejor estado fisiológico al comienzo de su período crítico y mantener dicho estado durante el mismo, logrando así también una mejor intercepción de radiación y eficiencia de conversión de la radiación interceptada, resultando en mayores tasas de crecimiento del cultivo, durante este período, con una consiguiente producción de materia seca total mayor y con una menor incidencia de senescencia foliar en estadios más avanzados del cultivo.

Cabe aclarar, como excepción a esto, que el peso de los 1000 granos fue superior en el nivel de fertilización F1 (Tabla 19 y Figura 15 b) con diferencia significativa respecto a F2 (Tabla 11 Anexo), por lo cual, las condiciones dadas por la fertilización nitrogenada durante el llenado de granos debieron ser mejores para dicho nivel de fertilización (F1).

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 25000 y 30000 kg ha⁻¹. Uhart y Andrade (1995b) mencionan diferencias en la producción de materia seca total a cosecha, según distintos niveles de fertilización, obteniendo en promedio entre 6808,5 y 20884,5 kg ha⁻¹ de biomasa aérea con los niveles de disponibilidad de nitrógeno inferior y superior respectivamente.

Por el contrario, Militello (2010), utilizando los mismos niveles de fertilización, no obtuvo diferencia significativa entre ellos, con un promedio de 21983,9 kg ha⁻¹ en el nivel F1 y 23297,5 kg ha⁻¹ en el nivel F2. Al igual que lo obtenido en este ensayo, tampoco encontró interacción entre los efectos de los factores riego y fertilización, por lo que también actuaron en forma independiente en cuanto a la materia seca total en R6.

Índice de cosecha

El rendimiento en granos es la resultante de la transpiración del cultivo, la eficiencia con que se utiliza el agua transpirada para producir materia seca y la proporción de esa materia seca que forma parte de los órganos de cosecha (granos). Esta proporción, expresada como el cociente entre el peso seco de granos y el peso seco total de la biomasa aérea, es el índice de cosecha (IC). En términos generales, el incremento del IC es considerado uno de los factores más importantes en el aumento de los rendimientos durante los últimos 100 años. En maíz el incremento obtenido en el IC, a través de los cultivares liberados al mercado a través de los años, fue más moderado que en otros cultivos como soja, girasol y trigo, aunque los valores actuales son de 0,50 (50 %), siendo este un valor señalado como cercano al máximo posible para cereales de clima templado creciendo en condiciones óptimas, aunque podría alcanzarse un valor de 60 %, por tener un fruto que no está ubicado en el extremo del tallo. Es posible entonces que el aumento del IC no sea una estrategia que permita incrementar sustancialmente los rendimientos en el futuro (Satorre *et al.*, 2003).

En cultivos de secano los IC son a menudo consistentemente más bajos que en condiciones óptimas, con un valor promedio de 35 %. Es aconsejable, entonces, implementar aquellas prácticas que disminuyan la brecha de IC entre cultivos con y sin limitaciones hídricas (Satorre *et al.*, 2003).

Sadras y Calviño (2001) demostraron que ante situaciones de deficiencia de agua (en suelos pocos profundos), el maíz reduce su IC en mayor proporción que la soja, el girasol y el trigo, por la alta susceptibilidad del número de granos a un estrés hídrico durante el período

crítico cercano a la antesis. En el mismo sentido, Rivetti (2004) menciona que el IC sólo se vería afectado si existiera un severo estrés en el período crítico (V13 a R3). En condiciones de sequías severas el rendimiento en grano se ve proporcionalmente más afectado que la producción de materia seca aérea total, disminuyendo sensiblemente el IC. Este parámetro es más estable en situaciones de déficit hídricos moderados (Sinclair *et al.*, 1990 y Liang *et al.*, 1991).

Siendo el maíz una especie diclino monoica, con el órgano de cosecha (la espiga) en posición axilar, secundaria respecto al órgano apical dominante (la panoja), un fuerte estrés durante el período comprendido entre el panojamiento y la aparición de estigmas, magnifica esta dominancia en detrimento de las espigas. Como consecuencia de este orden de dominancia dentro de la planta, el maíz es un cultivo que requiere un alto umbral de biomasa por planta para producir grano (Gardner y Gardner, 1983). Respecto a esto, Rivetti (2004) encontró que el cultivo de maíz debe alcanzar un tamaño mínimo de planta para que haya producción de grano.

En la Tabla 22 se muestra el índice de cosecha (IC) obtenido por el cultivo en los niveles de riego R0 y R4, con ambos niveles de fertilización y con el promedio por cada nivel de riego. En la Tabla 23 se muestra el IC del cultivo en promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 22: Índice de cosecha del cultivo (%) para cada nivel de riego y nivel de fertilización.

Nivel de Riego	Nivel de Fertilización	Índice de cosecha (%)
R0	F1	44,27
	F2	37,13
	Promedio	40,70 a
R4	F1	40,64
	F2	42,34
	Promedio	41,49 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 23: Índice de cosecha del cultivo (%) para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Índice de cosecha (%)
F1	42,45 a
F2	39,74 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

En el análisis de varianza no se presentaron diferencias estadísticas significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p= 0,8627$) ni entre niveles de fertilización ($p= 0,1090$), con una confiabilidad del 78 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 18,04 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p= 0,2535$), actuando en forma independiente para la variable (Tabla 13 Anexo).

Como puede observarse en la Tabla 22, los índices de cosecha obtenidos en los niveles de riego R0 y R4 son muy similares, con una diferencia de sólo 2 % a favor de R4. En la Tabla 23 se observa una situación similar entre niveles de fertilización, aunque con una diferencia de 7 % entre niveles, a favor de F1.

En la Figura 19 (a) se observa que el nivel de riego que presenta mayor dispersión en los valores es el nivel R4, con mayor diferencia entre mediana y promedio y siendo el único que posee valores extremos. En la Figura 19 (b) se observa una situación similar, presentando el nivel de fertilización F2 (2) una mayor dispersión de valores y mayor diferencia entre mediana y promedio que el nivel F1 (1) y siendo el único que posee valores extremos. Como se mencionó anteriormente, también puede verse aquí que los promedios obtenidos son similares entre niveles de riego y entre niveles de fertilización, como también entre todos ellos.

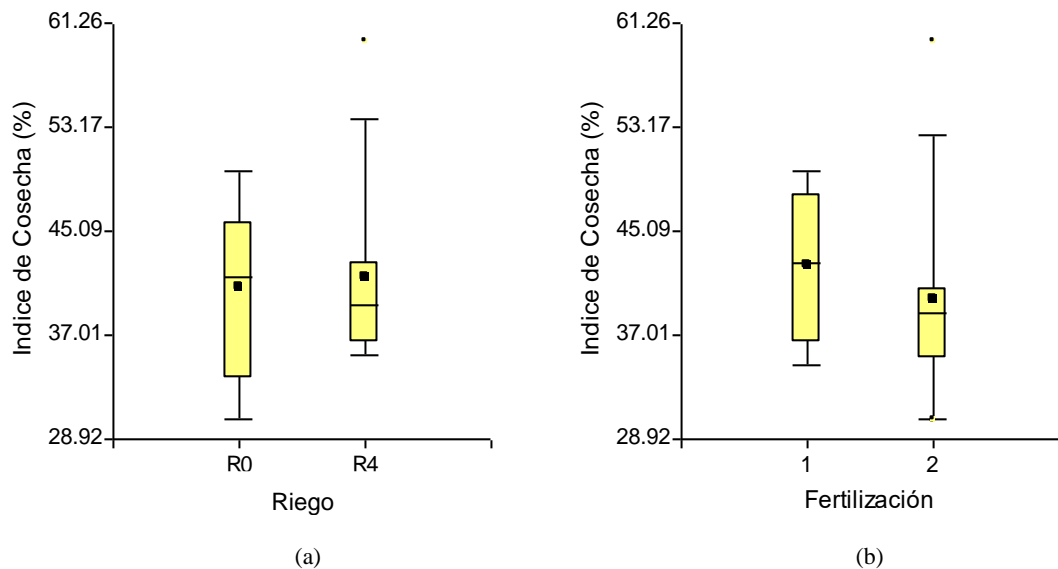


Figura 19: Diagramas de caja de índice de cosecha en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).

Teniendo en cuenta que el IC fue calculado como la relación entre el rendimiento en grano (kg ha^{-1}) y la materia seca aérea total producida en R6 (kg ha^{-1}), expresada en porcentaje, el mejor análisis resulta de la observación conjunta de las variables que lo determinan, tanto para los niveles de riego como para los niveles de fertilización. A pesar de no existir diferencia estadística significativa para el IC, los valores obtenidos difieren entre ellos en los distintos niveles de ambos factores (riego y fertilización), por lo que se puede entonces analizar estas diferencias a través de los resultados obtenidos en las variables que lo determinan y cómo influyen en los IC obtenidos.

Como se mostró en la Tabla 8 y Figura 5 (a), el rendimiento en grano en el nivel de riego R0 fue 10 % superior al obtenido en R4 y sin diferencia significativa entre ellos. Por otro lado, en la Tabla 20 y Figura 17 (a) se observa que la producción de materia seca aérea total en R6 fue 12,5 % superior en el nivel de riego R0 respecto a R4, también sin diferencia significativa. Se puede decir entonces, que el mayor IC obtenido en el nivel de riego R4, siendo un 2 % superior al obtenido en R0, se debe a esta diferencia porcentual entre las variables que lo determinan, dado que la diferencia obtenida entre niveles de riego para la variable materia seca aérea total producida en R6 (denominador en la relación para el cálculo del IC) a favor del nivel de riego R0 es mayor que la diferencia obtenida a favor del mismo nivel para el rendimiento en grano (numerador de la relación), lo que hace que sea menor el IC en el nivel de riego R0.

Haciendo el mismo tipo de análisis para los IC obtenidos con los niveles de fertilización, se puede observar en la Tabla 9 y Figura 5 (b) que el rendimiento en grano obtenido en el nivel F2 es superior en un 6 % al obtenido en F1 y con diferencia significativa entre ellos. Por otro lado, observando la Tabla 21 y Figura 17 (b), la materia seca aérea total producida en R6 es un 20 % superior en el nivel de fertilización F2 respecto a F1, existiendo aquí también diferencia significativa entre niveles. Esta diferencia en los porcentajes presentados hace que el IC obtenido en el nivel de fertilización F1 sea superior, en un 7 %, al IC obtenido en el nivel F2, sin presentarse diferencia significativa entre ellos.

Andrade *et al.* (1996) y Satorre *et al.* (2003), mencionan que el IC puede reducirse debido a una sequía o déficit hídrico alrededor de la floración, siendo ésta la etapa más sensible a sequías y el momento considerado crítico para la determinación del rendimiento, reduciéndose el IC debido a que puede verse más afectado el rendimiento en grano que la materia seca total aérea, situación que no se presentó en este ensayo, dado que el mayor rendimiento en grano se obtuvo en el nivel R0 (menor IC).

Teniendo en cuenta lo que mencionan los autores citados anteriormente, el mayor IC en el nivel de riego R4 puede deberse más a un efecto de la condición hídrica, en las distintas etapas del ciclo del cultivo, sobre la producción total de materia seca aérea en madurez fisiológica (R6), que a un efecto de la condición hídrica sobre el rendimiento en grano.

El cultivo con el nivel de riego R4 afrontó una menor condición hídrica que con el nivel R0, en parte de su período vegetativo, incluyendo una primera parte del período crítico. Esta situación pudo generar una menor producción de materia seca aérea en el período vegetativo pre-crítico (desde emergencia a 12-13 hojas desarrolladas, VE y V12-V13 respectivamente) en el nivel R4, pudiendo generarse una mayor partición a raíces y teniendo posteriormente el cultivo la oportunidad de recuperarse y alcanzar una cobertura que le haya permitido mantener alta tasa

de crecimiento en floración, siendo así la reducción en el rendimiento proporcionalmente menor a la generada en la producción de materia seca aérea total en R6.

Puede mencionarse también aquí, observando la Tabla 5, que la ETc obtenida a lo largo del ciclo de cultivo presentó diferencia, entre los niveles de riego R0 y R4, solo durante el período pre-crítico y post-crítico, siendo mayor la ETc en el nivel R0 en ambos períodos (33,76 y 28,95 mm más en R0, respectivamente). No hubo diferencias para la ETc ocurrida durante el período crítico (228,52 mm de ETc alrededor de este período en ambos niveles de riego). Esto contribuye a lo que se viene analizando, dado que el rendimiento en grano se determina alrededor de floración (período crítico), por lo que iguales ETc en este período aportan a la similitud en los rendimientos del cultivo en ambos niveles y, por otro lado, menores ETc en el resto del ciclo del cultivo se relacionan con la menor cantidad de materia seca aérea total producida en R6 en el nivel de riego R4, por lo que la acumulación de materia seca en granos, como proporción de la materia seca aérea total producida en madurez fisiológica, fue relativamente mayor en el nivel R4, incidiendo esto sobre un mayor IC del cultivo para este último nivel de riego (Satorre *et al.*, 2003).

El cultivo con el nivel de riego R4 sufrió una menor condición hídrica durante su período post-crítico, respecto a R0, que no afectó el peso de los 1000 granos (Tabla 18), pero probablemente produjo una reducción en el contenido de azúcares del tallo en la madurez, lo que también sumaría a la menor cantidad de materia seca aérea total producida en R6, contribuyendo al mayor IC en el nivel de riego R4 (Andrade *et al.*, 1996). Estos últimos autores mencionan además que deficiencias hídricas durante el período de llenado de granos tienen, en general, menor efecto sobre el rendimiento que la misma situación dada alrededor de floración y generando lo mencionado sobre la reducción en el contenido de azúcares en tallo en la madurez.

Satorre *et al.* (2003) mencionan índices de cosechas obtenidos por Dardanelli (datos no publicados) expresados como promedios de varios experimentos bajo riego y secano, en Manfredi (Córdoba), siendo de 0,42 para maíz en secano y de 0,47 bajo riego. Como puede notarse, los IC obtenidos en el presente ensayo son más similares a los mencionados para maíz en secano, en los dos niveles de riego aquí utilizados y sin diferencia significativa entre éstos. En referencia a esto, los primeros autores mencionan que se obtienen mayores índices de cosecha cuando aumenta la disponibilidad de agua durante el período post-antesis y la relación transpiración post-antesis/transpiración total, no comprobándose ninguna de estas situaciones en el presente ensayo, ya que el agua disponible en post-antesis fue mayor en el nivel de riego R0, por la mayor cantidad de riegos realizados (Tabla 5), siendo el nivel donde se obtuvo el menor IC y con respecto a la relación de transpiración mencionada no puede calcularse con precisión

debido a que se estimó la evapotranspiración del cultivo, no separando entre los componentes que la determinan (evaporación del suelo y transpiración del cultivo). Si dicha relación se calcula como ETc en post-antesis/ETc total, da una relación de 0,45 en ambos niveles de riego, habiendo ocurrido la antesis (R1) entre fines de la semana 12 y comienzos de la semana 13 (alrededor del 30/12/2008 para todos los tratamientos, Tabla 6), utilizando los valores de ETc de la Tabla 5, considerando desde la semana 13 para post-antesis.

Contrario a lo obtenido en este ensayo, en un ensayo conducido en Balcarce, donde ocurrieron precipitaciones muy por debajo de la media histórica durante el período de alrededor de 30 días centrado en floración, el maíz sembrado en alta densidad (8,5 plantas m⁻²) presentó un rendimiento significativamente menor al testigo regado (87 % inferior), reduciéndose el IC de 0,46 a 0,11 y la materia seca aérea total de 2800 a 1500 g m⁻² (Andrade y Cirilo, datos inéditos). En este caso, el rendimiento en grano se vio proporcionalmente más afectado que la producción de materia seca aérea total, disminuyendo sensiblemente el IC, situación inversa a lo ocurrido en el ensayo aquí presentado, donde fue la producción de materia seca aérea total en R6 la que sufrió una disminución proporcionalmente mayor, por lo que el mayor IC se obtuvo en el nivel con menor riego (R4), aunque vale aclarar que los autores recién citados mencionan que sus resultados se debieron a que el cultivo afrontó una sequía severa, dándose el resultado esperado en maíz ante estas situaciones, no presentada en el presente ensayo, dado que aparte de las precipitaciones ocurridas, se aplicó riego en todos los tratamientos.

Rivetti (2004) obtuvo valores de IC comprendidos entre 0,41 y 0,53 con un promedio de 0,49, siendo este promedio superior al obtenido en los distintos tratamientos del presente ensayo, los cuales son más cercanos al valor de 0,41. Tolk *et al.* (1998) también obtuvieron IC superiores, entre 0,45 y 0,58.

En cuanto al efecto de los niveles de fertilización nitrogenada sobre el índice de cosecha, anteriormente se mencionó que el valor obtenido en el nivel F1 fue superior un 7 % respecto al obtenido en el nivel F2 (Tabla 23), sin diferencia significativa (Tabla 13 Anexo), resultado que se debe a la mayor proporción obtenida en el nivel F2, sobre el nivel F1, en cuanto a la materia seca producida en R6, que a la obtenida para el rendimiento en grano. Esta situación puede deberse a que la condición nutricional del cultivo con el nivel de fertilización F1 pudo haber generado una mejor partición hacia granos de la materia seca aérea total producida en madurez fisiológica. Esto, a su vez, puede deberse, según Andrade *et al.* (1996) a que el cultivo con el nivel F1 (fertilización nitrogenada completa en V6) tuvo una menor disponibilidad de nitrógeno en el suelo desde la siembra hasta el estadio V6, lo que pudo haber generado menores tasas de crecimiento del cultivo durante este período, por lo tanto, teniendo una menor producción de

materia seca aérea durante el mismo, incluyendo la posibilidad de una mayor partición de materia seca producida a raíces, aunque también con menor acumulación de materia seca en éstas, según mencionan los autores citados. Luego de V6, la disponibilidad de nitrógeno no le debió permitir al cultivo recuperar la tasa de crecimiento y llegar con un buen estado fisiológico al período crítico, no permitiéndole entonces que mantenga altas tasas de crecimiento durante el mismo, lo cual afectó el rendimiento en grano, siendo menor en el nivel F1 (Tabla 9 y Figura 5 b), con diferencia significativa respecto a F2 (Tabla 6 Anexo), aunque no afectó el número de granos m^{-2} , dado que a pesar de ser mayor un 5 % en F2 (Tabla 11 y Figura 7 b), no se encontró diferencia estadística significativa entre niveles de fertilización (Tabla 7 Anexo). Todos estos efectos ya fueron analizados anteriormente, con más detalle, para las variables correspondientes.

Como también fue mencionado, para la producción de materia seca aérea total en R6 y para el peso de los 1000 granos, la condición del cultivo proporcionada por la fertilización nitrogenada con el nivel F1, resultó mejor para este nivel durante el llenado de los granos, dado que el peso de los 1000 granos fue mayor en el nivel F1 (Tabla 19 y Figura 15 b) y con diferencia significativa (Tabla 11 Anexo), lo cual puede también explicar en parte la mejor partición a granos y así el mayor IC en este nivel de fertilización, aunque no influyendo por supuesto, según se viene presentando, sobre una mayor producción de materia seca aérea total en R6.

Similar a lo obtenido y analizado en el presente ensayo, Andrade *et al.* (1996), en ensayos con diferentes niveles de disponibilidad de nitrógeno, conducidos bajo riego y sin limitaciones nutricionales (excepto nitrógeno), en Balcarce, obtuvieron, en uno de ellos, el mayor IC en el nivel con menor disponibilidad de nitrógeno, con un IC mayor al 50 %, donde la deficiencia de este nutriente disminuyó la tasa de crecimiento del cultivo entre emergencia y 15 días antes de la floración, pero permitiendo una recuperación total de dicha tasa durante la floración, no afectando el número de granos por unidad de superficie ni el rendimiento, pero sí la materia seca aérea total a cosecha, la cual fue mayor en el nivel con mayor disponibilidad de nitrógeno. Estos autores mencionan que dichos resultados también fueron obtenidos por otros autores, con reducciones en la tasa de crecimiento que sólo tuvieron lugar antes del período crítico de fijación de granos. En otros experimentos, en los que no ocurrió la situación mencionada, el mayor IC fue registrado para los niveles con mayor disponibilidad de nitrógeno, obteniendo en éstos, valores de IC cercanos al 50 %.

Eficiencia de uso del agua para rendimiento en grano

La eficiencia en el uso del agua para rendimiento en grano (EUAg: $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) fue obtenida según sugieren Tanner y Sinclair (1983) (citado en: Hatfield *et al.*, 2001), quienes la caracterizan como la relación entre el rendimiento en grano del cultivo (Y : g m^{-2}) y la evapotranspiración del cultivo (ETc: mm), utilizando aquí la ETc obtenida desde el balance de agua.

La simultaneidad entre los procesos de transpiración y fijación de CO_2 permite considerar el rendimiento en grano de un cultivo en función del agua transpirada y de la eficiencia con que la planta la aprovecha en términos de producción de biomasa en órganos de cosecha (granos), por lo que una deficiencia de agua que produzca una reducción en la transpiración trae aparejada una reducción en el rendimiento en grano (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003). De lo anterior se desprende que cuando se considera la EUA para rendimiento en grano (EUAg) la variación es mayor que para materia seca total producida (EUAs), dado que incluye además la variación causada por el índice de cosecha (IC), además de la variación producida, en ambas EUA, por las distintas proporciones entre el agua transpirada por el cultivo y evaporada desde el suelo, como componentes de la ETc, durante los distintos períodos de crecimiento del cultivo (Satorre *et al.*, 2003).

Hay que tener en cuenta que la EUA no es necesariamente una constante del cultivo, sino que, por el contrario, su valor puede variar ante deficiencias hídricas y ante variaciones en el déficit de presión de vapor (Otegui *et al.*, 1995 y Satorre *et al.*, 2003). Además de las variaciones debidas a factores climáticos adversos, la EUA también puede verse afectada por las prácticas de manejo agronómico, plagas, enfermedades y otros.

Una práctica de manejo que puede modificar la EUA del cultivo en un determinado ambiente o localidad geográfica, tanto para producción de materia seca total como para rendimiento en grano, es la elección de la fecha de siembra, dado que de ella dependen las condiciones ambientales con las que se encuentra el cultivo durante su ciclo de crecimiento (considerando sobre todo su período crítico de determinación del rendimiento), entre ellas las precipitaciones y el déficit de presión de vapor, este último dependiente de la temperatura y la humedad relativa y teniendo una relación directa con el flujo transpiratorio (Satorre *et al.*, 2003).

La aplicación de riego asociada a la fertilización nitrogenada también modifica la EUA. El efecto del riego sobre la misma, depende de las proporciones en el incremento de la tasa de transpiración y de la tasa de fotosíntesis, aumentando la EUA cuando el incremento en la segunda es proporcionalmente mayor que en la primera y viceversa. La aplicación de fertilizante

nitrogenado puede aumentar la EUA tanto con el uso de riego como en secano, dado a su efecto sobre el incremento de la capacidad fotosintética del cultivo y el mayor crecimiento del mismo desde etapas tempranas, aumentando, así, tanto la intercepción de la radiación solar como la eficiencia en el uso de la radiación solar (EUR) y la proporción de agua transpirada por el cultivo sobre la evaporación desde el suelo. Cuando todas estas situaciones favorables para el crecimiento del cultivo, tanto debido al riego como a la fertilización nitrogenada, producen sus efectos antes del periodo crítico del cultivo y se mantienen durante el mismo, el resultado será una mayor EUA para rendimiento en grano (EUAg), dado al aumento en el rendimiento en grano (Satorre *et al.*, 2003).

Un estrés hídrico en la floración del maíz reduce la eficiencia de conversión en biomasa de la radiación interceptada, pudiendo también reducir la intercepción de radiación (por aceleración de la senescencia de las hojas) y la partición de materia seca a espigas. Como consecuencia, aumenta el aborto de estructuras reproductivas y disminuye la producción final de grano. La magnitud de las pérdidas depende de la oportunidad, intensidad y duración del estrés y se manifiesta a través de la disminución en la cantidad de espigas por planta y de un menor número de granos en la espiga. Si la sequía en floración es muy severa y el cultivar utilizado es sensible al déficit hídrico, se puede llegar a la esterilidad de plantas (Andrade *et al.*, 1996).

Ensayos realizados en Balcarce mostraron que en situaciones de deficiencias hídricas moderadas durante 40 días centrados alrededor de la floración, se registraron aumentos de 18 kg ha⁻¹ en el rendimiento del maíz y de 4,7 granos m⁻² por milímetro adicional de agua consumida en dicho período, siendo el consumo de agua de los tratamientos de sequía, en promedio, un 44 % inferior al del testigo regado (Otegui *et al.*, 1995). Si las deficiencias hídricas son más severas, la respuesta es mucho mayor, viéndose el rendimiento en grano proporcionalmente más afectado que la producción de materia seca aérea total y disminuyendo sensiblemente el índice de cosecha (Andrade *et al.*, 1996).

En la Tabla 24 se muestran los promedios para la EUAg obtenida en los diferentes niveles de riego y en la Tabla 25 se muestra la EUAg promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 24: EUAg ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) promedio para cada nivel de riego.

Nivel de Riego	Rendimiento (kg ha^{-1})	Rendimiento (g m^{-2})	ETc (mm)	EUAg ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$)
R0	13556,59 ab	1355,66 ab	648,29	2,09 a
R1	14220,00 b	1422,00 b	648,29	2,19 a
R2	13529,96 ab	1353,00 ab	648,29	2,09 a
R3	12746,21 ab	1274,62 ab	585,58	2,18 a
R4	12307,14 a	1230,71 a	585,58	2,10 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Tukey.

Tabla 25: EUAg ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) promedio para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Rendimiento (kg ha^{-1})	Rendimiento (g m^{-2})	ETc (mm)	EUAg ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$)
F1	12872,65 a	1287,26 a	623,20	2,07 a
F2	13671,31 b	1367,13 b	623,20	2,19 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Tukey.

En el análisis de varianza no se presentaron diferencias estadísticas significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p= 0,7047$), pero sí entre niveles de fertilización ($p= 0,0032$) en cuanto a la EUAg, con una confiabilidad del 63 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 11,49 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p= 0,4855$), actuando en forma independiente para la variable EUAg (Tabla 14 Anexo).

Como se puede observar en la Tabla 24, los promedios de EUAg obtenidos en los distintos niveles de riego son muy similares entre sí y, como ya se mencionó, sin diferencia estadística significativa, presentando el mayor valor el nivel R1 (nivel con el mayor rendimiento, Tabla 8) y los menores valores los niveles R0 y R2, con un promedio entre niveles de riego de $2,13 \text{ g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$. Por el contrario, en la Tabla 25, los niveles de fertilización si presentaron diferencia estadística significativa, siendo la EUAg mayor en el nivel F2 (nivel con el mayor rendimiento, Tabla 9), con una diferencia de $0,12 \text{ g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ por sobre la del nivel F1, la cual representa un 6 %.

En los diagramas de caja de la Figura 20 (a) puede observarse que los niveles de riego con menor dispersión en los valores son R1 y R2, observándose la mayor dispersión en R4, aunque el nivel R3 es el único que presenta valores extremos y siendo además éste el que mayor diferencia presenta entre la mediana y el promedio, la cual es menor y similar para los demás niveles. En la Figura 20 (b) se observa que el nivel de fertilización con mayor variabilidad es F1 (1), presentado la mayor dispersión en los valores y siendo el único que presenta valores

extremos. La diferencia entre la mediana y el promedio es similar para ambos niveles de fertilización.

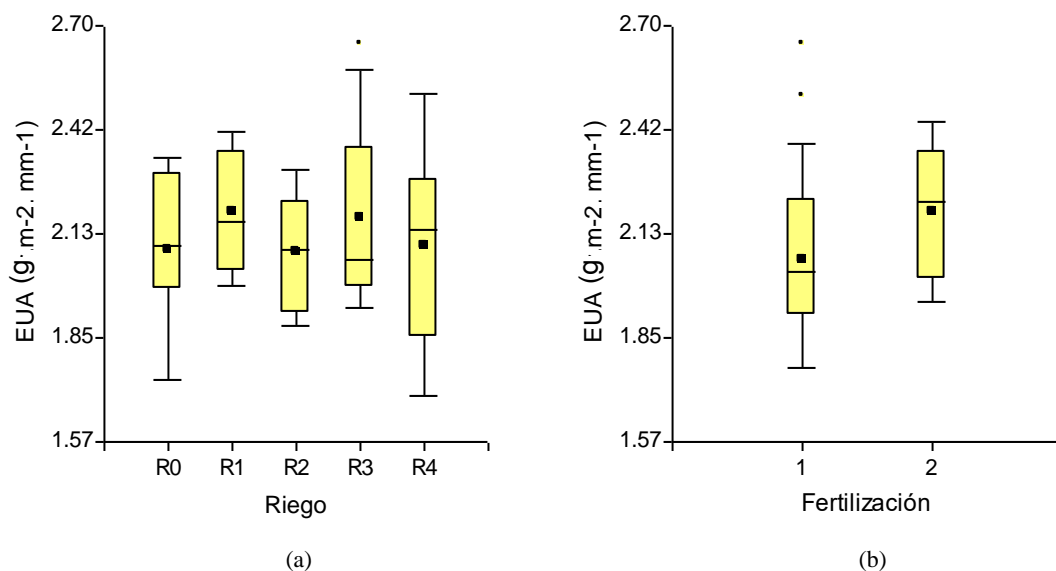


Figura 20: Diagramas de caja de EUAg en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).
Nota: EUA: EUAg.

Las eficiencias en el uso del agua para rendimiento en grano (EUAg) obtenidas en este ensayo son inferiores a las mencionadas por Rivetti (2004) y Puiatti *et al.* (2008), utilizando el mismo híbrido y en Río Cuarto, quienes tampoco observaron diferencia significativa entre tratamientos de riego, al igual que en el presente ensayo. La primera obtuvo valores comprendidos entre 2,6 y 2,9 kg m⁻³ de agua consumida (= g m⁻² mm⁻¹), correspondiendo el mayor valor de EUAg al testigo sin riego (2,9 kg m⁻³), con un promedio entre tratamientos de 2,7 kg m⁻³. Por su parte, Puiatti *et al.* (2008), obtuvieron un promedio de 3 kg m⁻³ en los tratamientos regados y 2,58 kg m⁻³ en el tratamiento sin riego.

Alzugaray (2009) con el mismo híbrido que en el presente ensayo y en Río Cuarto, obtuvo valores comprendidos entre 2,25 y 2,71 g m⁻² mm⁻¹, este último con el menor riego, con un promedio de 2,49 g m⁻² mm⁻¹ entre tratamientos de riego, más similares a los aquí presentados.

Por otra parte, Otegui *et al.* (1995), obtuvieron una EUAg promedio de 18 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (1,8 g m⁻² mm⁻¹) en ensayos realizados en Balcarce, utilizando tratamientos de sequía y con riego, siendo inferior a la EUAg promedio, como así también a la obtenida en todos los niveles de riego y fertilización, en este ensayo. Otros autores han encontrado valores extremos que están entre 0,5 kg m⁻³ (Pandey *et al.*, 2000) y 2,7 kg m⁻³ (Kang *et al.*, 2000), aunque la mayoría de los datos están comprendidos entre 1,2 y 2 kg m⁻³.

Como en este ensayo no se produjeron deficiencias hídricas severas durante el ciclo de crecimiento del cultivo, según el balance de agua en el suelo, en ninguno de los niveles de riego, sobre todo durante el periodo crítico de determinación del rendimiento en grano, no es posible comprobar lo mencionado por Andrade *et al.* (1996) sobre la mayor EUA para rendimiento en grano obtenida ante situaciones de estrés hídrico severo, en períodos de 30 a 70 días centrados en la floración.

Con relación a lo anterior, varios autores indican en sus resultados mayores valores de EUAg para los casos de menor ETc (Otegui, 1992, Otegui *et al.*, 1995, Tolk *et al.*, 1998, Karam *et al.*, 2003, Rivetti, 2004, Alzugaray, 2009 y Cirilo y Andrade, datos inéditos).

Tolk *et al.* (1998) dan resultados de EUA para rendimiento en grano comprendidos entre 1,2 y 1,5 kg m⁻³ en su ensayo realizado en Bushland (Texas), siendo los valores mayores para los tratamientos con déficit de agua. Karam *et al.* (2003) presentan valores de EUA para rendimiento en grano entre 1,5 y 1,9 kg m⁻³, presentando valores mayores en los ensayos con riego deficitario. Los resultados obtenidos en este ensayo no concuerdan estrictamente con los mencionados por estos autores, dado que tanto la mayor como las menores EUAg fueron obtenidas en los niveles de riego con mayor ETc (nivel R1 por un lado y niveles R0 y R2 por el otro, respectivamente) y sin diferencia significativa entre todos los niveles de riego.

Resultados similares fueron obtenidos por Puiatti *et al.* (2008), quienes también obtuvieron la mayor EUAg en uno de los tratamientos regados con la mayor ETc, aunque obtuvieron el menor valor para el tratamiento sin riego, con la menor ETc, también sin diferencia significativa entre tratamientos, incluido el testigo sin riego.

En cuanto a la EUAg según niveles de fertilización, era de esperar el mayor valor para F2, con diferencia significativa, dado que este nivel fue el que presentó el mayor rendimiento en grano (Tabla 9), siendo el promedio para la ETc igual en ambos niveles, según el balance de agua del suelo, dado que ambos promedios se obtuvieron con los mismos niveles de riego y por lo tanto con los mismos valores de ETc. Es decir, que la mayor EUAg en el nivel F2 se debió al mayor rendimiento en grano en este nivel, por sobre F1, con iguales ETc (623,20 mm) (Tabla 25).

Por lo tanto, puede comprobarse lo que mencionan Andrade *et al.* (1996) y Satorre *et al.* (2003), sobre los resultados de diversos ensayos llevados a cabo por ellos y a su vez por varios autores citados por los mismos, de que la fertilización nitrogenada modifica la EUAg, debido a los efectos sobre el estado fisiológico del cultivo y el aprovechamiento de esta situación para generar un mayor rendimiento en grano, sobre todo cuando el cultivo presenta un buen estado fisiológico durante el período crítico de determinación del rendimiento, con mayor intercepción

de la radiación solar (mediante una mayor área foliar y duración de la misma: menor senescencia foliar), mayor eficiencia de conversión de la radiación solar interceptada en biomasa del cultivo y una buena partición de la misma a granos (aunque el IC fue mayor en F1, no se obtuvo diferencia significativa entre niveles, Tabla 23).

El efecto de la ETc, como de sus componentes (transpiración del cultivo y evaporación del suelo) no pueden analizarse, dado a la misma ETc para ambos niveles y a que no se separaron, en el balance de agua utilizado, las variaciones de ambos componentes de la ETc, sino que se estimó la ETc total.

Eficiencia de uso del agua para materia seca aérea total en madurez fisiológica (R6)

La eficiencia en el uso del agua para rendimiento de materia seca aérea total en madurez fisiológica (EUAs: $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) fue obtenida según sugieren Tanner y Sinclair (1983) (citado en: Hatfield *et al.*, 2001), quienes la caracterizan como la relación entre la producción total de materia seca aérea del cultivo en madurez fisiológica (MS: g m^{-2}) y la evapotranspiración del cultivo (ETc: mm), utilizando aquí la ETc obtenida desde el balance de agua.

La simultaneidad entre los procesos de transpiración y fijación de CO_2 permite considerar la producción de materia seca de un cultivo en función del agua transpirada y de la eficiencia con que la planta la aprovecha en términos de producción de biomasa, por lo que una deficiencia de agua que produzca una reducción en la transpiración trae aparejada una reducción en la producción de biomasa (Andrade *et al.*, 1996 y Satorre *et al.*, 2003).

En alta producción, el cultivo no debe sufrir deficiencias de agua desde 15 días previos hasta dos o tres semanas posteriores a la floración. Tampoco debería sufrir deficiencias durante el llenado pero, en esta etapa, la respuesta al riego es menor. Los requerimientos hídricos del maíz durante su ciclo son de alrededor de 500 mm, con consumos durante el verano de aproximadamente 5 mm día^{-1} , y con eficiencias de uso de agua del orden de los 45 kg de materia seca por hectárea por milímetro de agua consumida. El consumo de agua de un cultivo de maíz, relativo al consumo sin limitaciones hídricas, disminuye cuando el contenido de agua en el perfil de suelo explorado por las raíces desciende por debajo del 60 o 40 % del agua útil, dependiendo de la demanda atmosférica y del estado fenológico del cultivo. Estos conceptos deben ser tenidos en cuenta al programar el riego del cultivo (Andrade *et al.*, 1996).

En la Tabla 26 se muestran los promedios para la EUAs obtenida en los diferentes niveles de riego y en la Tabla 27 se muestra la EUAs promedio para cada nivel de fertilización.

Tabla 26: EUAms ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) promedio para cada nivel de riego.

Nivel de Riego	Materia seca aérea total en R6 (kg ha^{-1})	Materia seca aérea total en R6 (g m^{-2})	ETc (mm)	EUAms ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$)
R0	33915,65 a	3391,57 a	648,29	5,23 a
R4	30143,10 a	3014,31 a	585,58	5,15 a

Letras iguales indican falta de diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 27: EUAms ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) promedio para cada nivel de fertilización.

Nivel de Fertilización	Materia seca aérea total en R6 (kg ha^{-1})	Materia seca aérea total en R6 (g m^{-2})	ETc (mm)	EUAms ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$)
F1	29101,00 a	2910,10 a	616,93	4,72 a
F2	34957,75 b	3495,78 b	616,93	5,66 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según test de Tukey.

En el análisis de varianza no se presentaron diferencias estadísticas significativas a un nivel del 5 % entre los niveles de riego ($p= 0,8566$), pero sí entre niveles de fertilización ($p= 0,0001$), con una confiabilidad del 96 % (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 6,43 %. No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p= 0,1229$), actuando en forma independiente para la variable EUAms (Tabla 15 Anexo).

Como puede observarse en la Tabla 26, la EUAms es muy similar entre ambos niveles de riego, con una diferencia de sólo 2 % a favor de R0 y sin diferencia estadística significativa entre niveles de riego, siendo el promedio de EUAms entre ambos niveles de $5,19 \text{ g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$. En la Tabla 27 puede observarse una diferencia mayor entre ambos niveles de fertilización, siendo la EUAms en el nivel F2 mayor en $0,94 \text{ g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ que en el nivel F1, representado esta diferencia un 20 % y con diferencia estadística significativa entre niveles.

En la Figura 21 (a) puede observarse que ambos niveles de riego presentan una dispersión de los valores similar, siendo ésta un poco mayor en el nivel R4, con una diferencia entre mediana y promedio también similar entre ambos y sin presentarse valores extremos en ninguno de ellos. Por otro lado, en la Figura 21 (b) se observa que el nivel de fertilización F2 (2) presenta una mayor dispersión en los valores que F1 (1), aunque ambos niveles presentan valores extremos y una diferencia entre mediana y promedio similar. En esta última Figura se puede observar también la mayor diferencia entre promedios que presentan ambos niveles de fertilización respecto a la diferencia de promedios entre niveles de riego (Tablas 27 y 26 respectivamente).

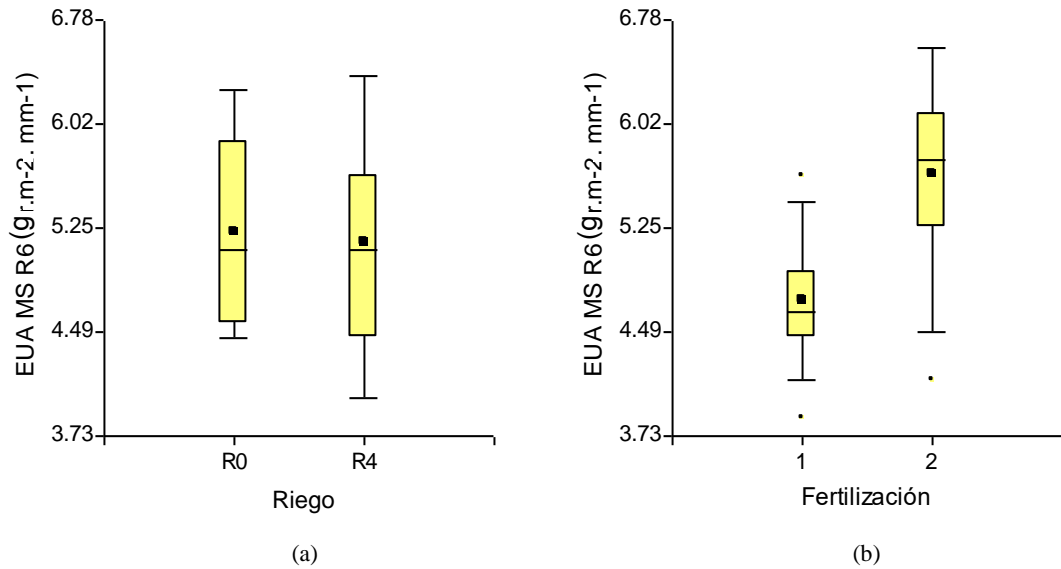


Figura 21: Diagramas de caja de EUAms en cada nivel de riego (a) y fertilización (b).
Nota: EUA MS R6: EUAms.

Como se mencionó anteriormente, la EUAms promedio entre niveles de riego fue de 5,19 $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$, sin diferencia estadística significativa entre ellos, valor ubicado dentro del rango encontrado por diferentes autores, quienes obtuvieron 5,7 kg m^{-3} , 5,01 kg m^{-3} , 4,21 kg m^{-3} , 3,9 kg m^{-3} , 3,2 kg m^{-3} y 3,1 kg m^{-3} (Rivetti, 2004, Militello, 2010, Puiatti *et al.*, 2008, Ogola *et al.*, 2002, Karam *et al.*, 2003 y Tolk *et al.*, 1998, respectivamente).

En un trabajo realizado en Balcarce bajo condiciones hídricas y nutricionales no limitantes, el maíz evapotranspiró 530 mm de agua para producir 22,5 t ha^{-1} de biomasa aérea, por lo tanto la EUAms fue de 4,2 $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ de agua consumida (Andrade y Gardiol, 1995), valor que esta también dentro del rango mencionado.

La mayor EUAms obtenida en el nivel de riego R0, nivel más regado, respecto de R4, nivel menos regado, es coincidente con lo encontrado por Puiatti *et al.* (2008) y Militello (2010), quienes encontraron para la misma el mayor y menor valor en el tratamiento con más y menos riego respectivamente, aunque, al igual que en el presente ensayo, sin diferencia significativa entre tratamientos de riego.

Por el contrario, Rivetti (2004) observó un incremento significativo en el tratamiento sin riego comparativamente con los tratamientos regados, resultado coincidente con las experiencias de Tolk *et al.* (1998) y Karam *et al.* (2003).

En cuanto a los niveles de fertilización, era esperable la mayor EUAms obtenida en el nivel F2, con diferencia estadística significativa respecto al nivel F1, debido a que, como fue presentado anteriormente (Tabla 21), la producción de materia seca aérea total en madurez

fisiológica (R6) fue significativamente mayor en el nivel de fertilización F2 respecto a F1, mientras que la ETc para ambos niveles de fertilización fue la misma (616,93 mm, Tabla 27), calculada como el promedio de las ETc obtenidas en ambos niveles de riego sobre los que se midió la producción de materia seca y la EUAms (niveles R0 y R4).

Por lo tanto, puede comprobarse lo que mencionan Andrade *et al.* (1996) y Satorre *et al.* (2003), sobre los resultados de diversos ensayos llevados a cabo por ellos y a su vez por varios autores citados por los mismos, de que la fertilización nitrogenada modifica la EUAms, debido a los efectos sobre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en los distintos estadios del mismo. Como en este ensayo la mayor EUAms fue para el nivel de fertilización F2, puede decirse, siguiendo a los autores recién citados, que la fertilización nitrogenada repartida en siembra y en el estadio fenológico de V6 generó una mayor TCC durante el ciclo de crecimiento del cultivo, a causa de su efecto sobre una mayor intercepción de la radiación solar (mediante una mayor área foliar y duración de la misma: menor senescencia foliar) y mayor eficiencia de conversión de la radiación solar interceptada en biomasa del cultivo (por una mayor tasa fotosintética), generando así una mayor producción de materia seca aérea total en R6 y, con ello, la mayor EUAms en el nivel de fertilización F2.

El efecto de la ETc, como de sus componentes (transpiración del cultivo y evaporación del suelo) no pueden analizarse, dado a la misma ETc para ambos niveles y a que no se separaron, en el balance de agua utilizado, las variaciones de ambos componentes de la ETc, sino que se estimó la ETc total.

Militello (2010), utilizando los mismos niveles de riego y de fertilización que en este ensayo, con el mismo híbrido y en Río Cuarto, no obtuvo diferencia estadística significativa entre niveles de fertilización para la EUAms, aunque en promedio los tratamientos F2 también mostraron una mayor eficiencia, de 5,15 kg m⁻³, frente a los 4,88 kg m⁻³ en promedio para los tratamientos F1, valores similares a los obtenidos en el presente ensayo, mencionando que este resultado podría explicarse porque la fertilización nitrogenada repartida en los estadios considerados tuvo un efecto positivo en la TCC. Esto también puede explicarse, similar a lo ocurrido en el presente ensayo con las variables determinantes de la EUAms, porque la materia seca aérea total en R6 fue en promedio de 23297,49 y 21983,90 kg ha⁻¹ para los niveles de fertilización F2 y F1 respectivamente, aunque sin diferencia estadística significativa entre éstos y con el mismo promedio de ETc para ambos niveles de fertilización (452,03 mm).

CONCLUSIONES

- El cultivo de maíz con buena provisión hídrica alcanza antes las etapas vegetativas y reproductivas, cumpliendo su ciclo en menor cantidad de tiempo. Los distintos momentos de fertilización nitrogenada no generan esta diferencia en la fenología del cultivo.
- La aplicación de diferentes programaciones de riego complementario y momentos de fertilización nitrogenada generan efectos independientes entre ambas prácticas, pudiendo aplicarse y analizar sus resultados en forma separada.
- El riego complementario genera respuesta significativa en el rendimiento en grano, no así en la producción de materia seca aérea total en madurez fisiológica.
- Al no haber diferencia estadísticamente significativa entre los niveles de riego R0, R1, R2 y R3 en el rendimiento en grano, se puede decir que el nivel R3 es el más conveniente de llevar a cabo, según el ciclo de este ensayo, porque genera ahorro de agua de riego.
- De los componentes del rendimiento, el único que presentó diferencias significativas entre niveles de riego y de fertilización nitrogenada fue el peso de los 1000 granos, aunque no explicando las variaciones en el rendimiento en grano.
- Al no haber diferencia estadísticamente significativa entre los niveles de riego R0 y R4 en la producción de materia seca aérea total en madurez fisiológica (R6), se puede decir que el nivel R4 es el más conveniente de llevar a cabo, según el ciclo de este ensayo, porque genera ahorro de agua de riego, siempre y cuando se priorice la producción de materia seca aérea total en R6 sobre el rendimiento en grano.
- La EUA para rendimiento en grano y producción de materia seca aérea en R6 no presentó diferencias significativas entre los distintos niveles de riego, por lo que las variaciones en la producción de granos y materia seca no son explicadas por una mayor o menor EUA originada por el riego complementario.
- Al existir diferencias estadísticamente significativas entre niveles de fertilización para rendimiento en grano y producción de materia seca aérea total en R6, siendo mayores con la fertilización nitrogenada repartida en siembra y estadio fenológico V6, se puede decir que ésta es la más conveniente de llevar a cabo, generando además un incremento significativo en la EUA para ambas variables, al menos en las condiciones de cultivo presentadas en este ensayo.
- Las variaciones en el rendimiento en grano y producción de materia seca aérea en R6 no fueron explicadas por el IC, dado que éste no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

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. 300 pp.

ALZUGARAY, E. 2009. **Determinación de la producción de grano e indicadores de rendimiento en un cultivo de maíz (*Zea mays L.*) bajo diferentes programaciones de riego complementario**. Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. Córdoba. Argentina.

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**. Editorial 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. 23 pp.

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.

ARGUISSAIN, G. G. 1990. **Productividad de maíz en Balcarce**. Tesis Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 48 pp.

BARRACO, M. y M. DÍAZ-ZORITA 2003. **Manejo de la fertilización nitrogenada en cultivos de maíz de segunda**. Tecnicorreo. Boletín técnico para profesionales agropecuarios, editado por EEA INTA General Villegas. Setiembre 2003. Pp: 28-31.

BARRACO, M. y M. DÍAZ-ZORITA 2004. Momento de fertilización nitrogenada de maíz en la región de la pampa arenosa. **Actas XIX Congreso AACCS**. Paraná (ER). P: 146.

BARRACO, M. y M. DÍAZ-ZORITA 2005. **Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos**. EEA INTA General Villegas. Cátedra de Cereales. UBA. Buenos Aires. Argentina.

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.

BUCHLEITER, G. W., D. F. HERMANN y R. J. WENSTROM 1996. Economic analysis of on-farm irrigation scheduling. **Evapotranspiration and Irrigation Scheduling**. ASAE. Texas.

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. DEGIOANNI, 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.

CAVIGLIA y PAPAROTTI 1999. AAPRESID. Maíz en SD. **Jornadas de intercambio técnico de maíz**. Agua. Pág. 19-33.

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.

CODROMAZ DE ROJAS, A., H. PELTZER, N. KAHN y N. GARCIARENA 1997. **Distribución de la humedad en el suelo durante el ciclo de cultivo de maíz**. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. Argentina. Pp: 186-189.

CONTRERAS, M., E. ZINI y H. M. CURRIE 2004. **Los rendimientos de cultivo de maíz en dos sistemas de riego y algunos indicadores de productividad**. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas 2004. Corrientes. Argentina. En: www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-046.pdf. Consultado: 13-04-2011.

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. FAO N° 24. Roma. 194 pp.

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. **XI Reunión Argentina de Agrometeorología. 6-8 de septiembre de 2006. La Plata. Argentina**. En: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/posters/36/Echarte1.htm>. Consultado: 21-03-2011.

EEA INTA BALCARCE 2003. **Ensayos comparativos de rendimiento de híbridos de maíz. Campaña 2002/2003**. En: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/ret/03/maiz.htm>. Consultado: 01-04-2011.

FAO 2011. FAOSTAT – Producción agrícola – Comercio – Seguridad Alimentaria. En: <http://faostat.fao.org>. Consultado: 16-05-2011.

FERNÁNDEZ, J. E., F. MORENO, J. M. MURILLO, J. A. CAYUELA, E. FERNÁNDEZ-BOY y F. CABRERA 1996. Water use and yield of Maize with two levels of nitrogen fertilization in SW Spain. **Agricultural Water Management**. 29: 215-233.

FERRARI M. C., J. J. OSTOJIC, G. N. FERRARIS, L. A. VENTIMIGLIA, H. C. CARTA y S. N. RILLO 2001. **Momento de aplicación de fertilizante nitrogenado en maíz de siembra directa**. VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino 7 al 9 de noviembre de 2001.

GALINAT, W. C. 1988. The origin of corn. En: G. F. Sprague y J. W. Dudley (eds.). Corn and corn improvement (3^a ed.). **Series Agronomy N° 18. American Society of Agronomy**. Inc. Publishers. Madison. Wisconsin. USA.

GAMBAUDO, S. y H. FONTANETTO 1996. **Fertilización. En Maíz**. Información para extensión. EEA INTA Rafaela. Santa Fe. Argentina.

GARDNER, W. R. y H. R. GARDNER 1983. Principles of water management under drought conditions. **Agricultural Water Management**. 7: 143-155.

GUDELJ, V., P. VALLONE, C. GALARZA, O. GUDELJ, C. LORENZÓN y B. MASIERO 2003. **Fertilización de maíz en siembra directa. Resultados 2002/03**. Estación Experimental Marcos Juárez. En: <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/maiz/mfert03.htm>. Consultado: 02-04-2011.

GUDELJ, V., P. VALLONE, C. GALARZA, B. MASIERO, O. GUDELJ y C. LORENZÓN 2005. **Momentos de aplicación de nitrógeno en siembra directa de maíz. Maíz: actualización 2005**. Información para Extensión N° 95, INTA Marcos Juárez. Estación Experimental Marcos Juárez. En: <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/maiz/aplicNmz05res.htm>. Consultado: 02-04-2011.

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

JOKELA, W. E. y G. W. RANDALL 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. **Agronomy Journal**. 81: 720-726.

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.

KANG, S., W. SHI y J. ZHANG 2000. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**. 67: 207-214.

KARAM, F., J. BREIDY, C. STEPHAN y 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. Pp: 115-131.

LIANG, B. C., A. F. MACKENZIE, P. C. KIRBY y M. REMILLARD 1991. Corn production in relation to water inputs and heat units. **Agronomy Journal**. 83: 794-799.

LORENZATTI, S. 2001. El cultivo de maíz en siembra directa. **AAPRESID. Revista de maíz 2001**.

MAROZZI, D. G., G. D. DEBORTOLI, M. MÉNDEZ y H. CURRIE 2005. **Determinación de algunos indicadores de rendimiento en el cultivo de maíz bajo dos sistemas de riego**. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005. Corrientes. Argentina. En: <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-036.pdf>. Consultado: 26-05-2011.

MILITELLO, A. C. 2010. **Producción de materia seca de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes condiciones de riego**. Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. Córdoba. Argentina.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE LA NACIÓN (MAGyP) 2011. Estimaciones y Estadísticas. Sistema integrado de información agropecuaria. Buenos Aires. Argentina. En: <http://www.minagri.gob.ar/site/index.php>. Consultado: 13-06-2011.

NICOSIA, M. G. y G. O. MARTIN (h) 1998. **Cultivos: Producción de Maíz. Algunos aspectos relevantes (Parte III)**. Cátedra de Forrajes y Cereales. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. En: http://www.produccion.com.ar/1998/98oct_09.htm. Consultado: 28-05-2011.

OGOLA, J. B. O., T. R. WHEELER y P. M. HARRIS 2002. Effects of nitrogen and irrigation on water use of maize crops. **Field Crops Research**. 78: 105-117.

OTEGUI, M. E. 1992. **Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento**. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce. Buenos Aires. Argentina. 93 pp.

OTEGUI, M. E., F. H. ANDRADE y E. E. SUERO 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. **Field Crops Research**. 40:87-94.

PANDEY, R. K., J. W. MARANVILLE y M. M. CHETIMA 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. **Agricultural Water Management**. 46:15-27.

PIATTI, F. D. 2002. **Red de evaluación interna de: Híbridos de maíz. Campaña 2001/2002**. Directorio de información: Producción Vegetal. Estación Experimental Manfredi. INTA. Manfredi. Córdoba. En: <http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/documentos/docprodveg/maiz/maiz020.htm>. Consultado: 03-04-2011.

PUIATTI, J. M., R. J. CRESPI, A. R. RIVETTI, A. CANTERO y E. BONADEO 1985. Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) al riego y a la fertilización en la zona de Río Cuarto. **XII Congreso Nacional del Agua**. Tomo II (b): 15-32. Mendoza. Argentina.

PUIATTI, J. M., E. J. CRESPI y A. R. RIVETTI 2002. Riego con equipos presurizados. **Revista FCA UNCuyo**. Tomo XXXIV. 2: 27-33. III Jornadas de actualización en Riego y Fertilización. 10 y 11 de agosto 2006. Mendoza. Argentina.

PUIATTI, J. M. P., A. R. RIVETTI y J. H. SCHMALZ 2006. Riego complementario en maíz (*Zea mays L.*) en la región de Río Cuarto empleando el pronóstico climático extendido de 72 horas. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. **III Jornada de Actualización en Riego y Fertilización**. Mendoza. Argentina. En: <http://www.inta.gov.ar/mendoza/jornadas>. Consultado: 03-04-2011.

PUIATTI, J. M., RIVETTI, A. R. y G. GOMEZ ABELLO 2008. Efecto de diferentes programaciones de riego complementario sobre la producción de un cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en Río Cuarto – Córdoba. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. **IV Jornadas de Actualización en Riego y Fertilización**. Mendoza. Argentina. En: http://www.inta.gov.ar/mendoza/IV_jornadas. Consultado: 03-04-2011.

QUIROGA, A., D. FUNARO, O. ORMEÑO, A. BONO y C. SCIANCA 2003. Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Cultivos de Cosecha Gruesa. **Actualización 2003. Boletín de Divulgación Técnica N° 77**. EEA INTA Anguil. 264 pp.

RICE, S. W. y M. S. SMITH 1984. Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 48: 295-297.

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., J. M. P. PUIATTI, J. A. MORÁBITO, y A. N. GARELLO 2001. Riego complementario del maíz en la zona semiárida argentina en el marco de una agricultura

sustentable. Seminario Nacional. **Manejo sustentable del recurso hídrico en zonas áridas**. Mendoza. Argentina. P. 107.

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 pp.

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

SADRAS, V. O. y P. A. CALVIÑO 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower and wheat. **Agronomy Journal**. 93: 577-583.

SALINAS, A., E. MARTELLOTTI, J. P. GIUBERGIA, P. SALAS, V. CAPUCCINO, J. PAPPALARDO, E. LOVERA y J. GORGAS 2006. **Riego suplementario en cultivos extensivos en la provincia de Córdoba. Situación actual**. Proyecto regional de agricultura sustentable e impacto ambiental. Información de Área Agronomía. INTA - EEA Manfredi. En: <http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/documentos/docsuelos/riegosuple1.htm>. Consultado: 27-05-2011.

SALINAS, A., E. MARTELLOTTI, J. P. GIUBERGIA, P. SALAS, V. CAPUCCINO, J. PAPPALARDO, E. LOVERA y J. GORGAS 2007. **Evaluación de la encuesta sobre el impacto ambiental del riego suplementario de cultivos extensivos en la provincia de Córdoba**. Proyecto regional de agricultura sustentable e impacto ambiental. Información de Área Agronomía. INTA – EEA Manfredi. En: <http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/documentos/docsuelos/encueriego.htm>. Consultado: 27-05-2011.

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 5-6-8-16-18.

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.

SINCLAIR, T. R., J. M. BENNETT y R. C. MUCHOW 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize. **Crop Science**. 30: 690-693.

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

TOTIS DE ZELJKOVICH, L. C. y C. M. REBELLA 1980. Necesidades de agua de un cultivo de maíz en la región de Pergamino. AIANBA (ed.). **Actas del II Congreso Nacional de Maíz**. Pp: 211-219.

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

UHART, S. A. y F. H. ANDRADE 1995b. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction on kernel number and grain yield. **Crop Science**. 35: 1384-1389.

WEILENMANN DE TAU, M. E., W. SUAREZ, M. FERREIRO y M. PIERSANTI 2002. **Evaluación de híbridos de maíz. Campaña 2001/2002. Ensayos comparativos de rendimiento (ECR) Híbridos de Maíz.** EEA INTA Balcarce. Buenos Aires. En: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/ret/02/maiz2002.htm>.

Consultado: 01-04-2011.

ANEXO

Tabla 1: Balance de agua semanal R0.

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	Pe	R	Ks	Kc	Etc	Pp	Dri final
1	42,30	25		16		1	0,46	19,46		2,52
2	24,90	25	2,52	10		1	0,46	11,45	4,86	8,83
3	38,84	25	8,83	1		1	0,46	17,87		25,70
4	41,48	25	25,70	0	25	1	0,51	21,54		22,24
5	43,15	25	22,24	14		1	0,63	27,34		35,58
6	40,56	25	35,58	4	50	1	0,75	30,80		12,38
7	56,29	25	12,38	19	50	1	0,87	49,31	7,31	0,00
8	26,40	25	0,00	93		1	0,98	25,75	70,06	2,82
9	38,15	25	2,82	11	25	1	1,08	41,35		8,17
10	29,90	25	8,17	32		1	1,10	32,89		9,06
11	34,94	25	9,06	52		1	1,10	38,43	4,51	0,00
12	36,43	25	0,00	37		1	1,10	40,07	20,57	23,65
13	31,43	25	23,65	39		1	1,10	34,58		19,22
14	37,79	25	19,22	3	50	1	1,09	41,20		7,42
15	40,51	25	7,42	25		1	1,03	41,54		23,97
16	46,81	25	23,97	26	25	1	0,96	44,80		17,77
17	33,12	25	17,77	28		1	0,89	29,46	0,18	19,41
18	36,70	25	19,41	17	25	1	0,82	30,33	2,66	10,40
19	38,51	25	10,40	22		1	0,75	28,86	3,64	20,90
20	28,21	25	20,90	26		1	0,69	19,58		14,48
21	34,17	25	14,48	0		1	0,63	21,66		36,14
	780,58			475	250			648,29	113,79	

Tabla 2: Balance de agua semanal R1.

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	Pe	R	Ks	Kc	Etc	Pp	Dri final
1	42,30	25		16		1	0,46	19,46		2,52
2	24,90	25	2,52	10		1	0,46	11,45	4,86	8,83
3	38,84	25	8,83	1		1	0,46	17,87		25,70
4	41,48	25	25,70	0	25	1	0,51	21,54		22,24
5	43,15	25	22,24	14		1	0,63	27,34		35,58
6	40,56	25	35,58	4	50	1	0,75	30,80		12,38
7	56,29	25	12,38	19	25	1	0,87	49,31		17,69
8	26,40	25	17,69	93		1	0,98	25,75	52,37	2,82
9	38,15	25	2,82	11		1	1,08	41,35		33,17
10	29,90	25	33,17	32		1	1,10	32,89		34,06
11	34,94	25	34,06	52		1	1,10	38,43		20,49
12	36,43	25	20,49	37		1	1,10	40,07	0,08	23,65
13	31,43	25	23,65	39		1	1,10	34,58		19,22
14	37,79	25	19,22	3	25	1	1,09	41,20		32,42
15	40,51	25	32,42	25		1	1,03	41,54		48,97
16	46,81	25	48,97	26	50	1	0,96	44,80		17,77
17	33,12	25	17,77	28		1	0,89	29,46	0,18	19,41
18	36,70	25	19,41	17		1	0,82	30,33		32,74
19	38,51	25	32,74	22	25	1	0,75	28,86		14,60
20	28,21	25	14,60	26		1	0,69	19,58		8,18
21	34,17	25	8,18	0		1	0,63	21,66		29,84
	780,58			475	200			648,29	57,49	

Tabla 3: Balance de agua semanal R2.

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	Pe	R	Ks	Kc	Etc	p	Pp	Dri final
1	42,30	19,91		16		1	0,46	19,46	0,67		2,52
2	24,90	20,28	2,52	10		1	0,46	11,45	0,68	4,86	8,83
3	38,84	19,19	8,83	1		1	0,46	17,87	0,65		25,70
4	41,48	18,57	25,70	0	25	1	0,51	21,54	0,63		22,24
5	43,15	34,01	22,24	14		1	0,63	27,34	0,59		35,58
6	40,56	32,88	35,58	4	50	1	0,75	30,80	0,57		12,38
7	56,29	26,82	12,38	19	25	1	0,87	49,31	0,47		17,69
8	26,40	34,53	17,69	93		1	0,98	25,75	0,60	52,37	2,82
9	38,15	65,18	2,82	11		1	1,08	41,35	0,51		33,17
10	29,90	71,32	33,17	32		1	1,10	32,89	0,56		34,06
11	34,94	67,30	34,06	52		1	1,10	38,43	0,53		20,49
12	36,43	66,11	20,49	37		1	1,10	40,07	0,52	0,08	23,65
13	31,43	70,10	23,65	39		1	1,10	34,58	0,55		19,22
14	37,79	65,29	19,22	3		1	1,09	41,20	0,51		57,42
15	40,51	65,05	57,42	25		1	1,03	41,54	0,51		73,97
16	46,81	62,68	73,97	26	25	1	0,96	44,80	0,49		67,77
17	33,12	73,81	67,77	28		1	0,89	29,46	0,58		69,23
18	36,70	73,17	69,23	17		1	0,82	30,33	0,58		82,56
19	38,51	74,24	82,56	22	25	1	0,75	28,86	0,59		64,42
20	28,21	80,97	64,42	26		1	0,69	19,58	0,64		58,00
21	34,17	79,46	58,00	0		1	0,63	21,66	0,63		79,66
	780,58			475	150			648,29		57,31	

Tabla 4: Balance de agua semanal R3.

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	Pe	R	Ks	Kc	Etc	p	Pp	Dri final
1	42,30	19,91		16		1	0,46	19,46	0,67		2,52
2	24,90	20,28	2,52	10		1	0,46	11,45	0,68	4,86	8,83
3	38,84	19,64	8,83	1		1	0,46	15,22	0,66		23,06
4	41,48	19,40	23,06	0		1	0,51	16,60	0,66		39,66
5	43,15	35,09	39,66	14	25	1	0,63	24,03	0,61		24,69
6	40,56	36,28	24,69	4	25	0,60	0,75	20,41	0,63		16,10
7	56,29	30,90	16,10	19	25	0,60	0,87	36,84	0,54		8,94
8	26,40	34,53	8,94	93		1	0,98	25,75	0,60	61,12	2,82
9	38,15	65,18	2,82	11		1	1,08	41,35	0,51		33,17
10	29,90	71,32	33,17	32		1	1,10	32,89	0,56		34,06
11	34,94	67,30	34,06	52		1	1,10	38,43	0,53		20,50
12	36,43	66,11	20,50	37		1	1,10	40,07	0,52	0,07	23,64
13	31,43	70,10	23,64	39		1	1,10	34,58	0,55		19,21
14	37,79	65,29	19,21	3		1	1,09	41,20	0,51		57,42
15	40,51	70,69	57,42	25		1	1,03	33,76	0,56		66,18
16	46,81	72,26	66,18	26	25	0,60	0,96	31,59	0,57		46,77
17	33,12	73,81	46,77	28		1	0,89	29,46	0,58		48,22
18	36,70	73,17	48,22	17		1	0,82	30,33	0,58		61,55
19	38,51	74,24	61,55	22		1	0,75	28,86	0,59		68,41
20	28,21	84,95	68,41	26		0,60	0,69	14,09	0,67		56,50
21	34,17	81,25	56,50	0		1	0,63	19,19	0,64		75,69
	780,58			475	100			585,58		66,05	

Tabla 5: Balance de agua semanal R4.

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	Pe	R	Ks	Kc	Etc	p	Pp	Dri final
1	42,30	19,91		16		1	0,46	19,46	0,67		2,52
2	24,90	20,28	2,52	10		1	0,46	11,45	0,68	4,86	8,83
3	38,84	19,64	8,83	1		1	0,46	15,22	0,66		23,06
4	41,48	19,40	23,06	0		1	0,51	16,60	0,66		39,66
5	43,15	35,09	39,66	14	25	1	0,63	24,03	0,61		24,69
6	40,56	36,28	24,69	4	25	0,60	0,75	20,41	0,63		16,10
7	56,29	30,90	16,10	19	25	0,60	0,87	36,84	0,54		8,94
8	26,40	34,53	8,94	93		1	0,98	25,75	0,60	61,12	2,81
9	38,15	65,18	2,81	11		1	1,08	41,35	0,51		33,17
10	29,90	71,32	33,17	32		1	1,10	32,89	0,56		34,06
11	34,94	67,30	34,06	52		1	1,10	38,43	0,53		20,49
12	36,43	66,11	20,49	37		1	1,10	40,07	0,52	0,07	23,63
13	31,43	70,10	23,63	39		1	1,10	34,58	0,55		19,21
14	37,79	65,29	19,21	3		1	1,09	41,20	0,51		57,41
15	40,51	70,69	57,41	25		1	1,03	33,76	0,56		66,18
16	46,81	72,26	66,18	26	25	0,60	0,96	31,59	0,57		46,77
17	33,12	73,81	46,77	28		1	0,89	29,46	0,58		48,23
18	36,70	73,18	48,23	17		1	0,82	30,33	0,58		61,56
19	38,51	74,24	61,56	22		1	0,75	28,86	0,59		68,42
20	28,21	84,95	68,42	26		0,60	0,69	14,09	0,67		56,51
21	34,17	81,25	56,51	0		1	0,63	19,19	0,64		75,70
	780,58			475	100			585,58		66,05	

Nota Tablas 1 a 5: Sem: semanas desde la siembra; Eto: evapotranspiración del cultivo de referencia; RAW: agua realmente disponible; Dri inicio: lámina de agua al inicio de la semana i; Pe: precipitaciones efectivas; R: riego; Ks: coeficiente de estrés; Kc: coeficiente del cultivo; Etc: evapotranspiración del cultivo; p: proporción del agua totalmente disponible; Pp: percolación profunda; Dri final: lámina de agua al final de la semana i.

Tabla 6: Análisis de la varianza y test de Tukey para rendimiento en granos.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	50	0,68	0,02	11,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	78384260,34	33	2375280,62	1,03	0,4895
Bloque	11684393,82	4	2921098,46	1,27	0,3220
Riego	22536404,96	4	5634101,24	3,24	0,0399
Riego*Bloque	27860459,31	16	1741278,71	0,76	0,7071
Fertilizante	7973334,26	1	7973334,26	57,42	0,0016
Bloque*Fertilizante	555407,79	4	138851,95	0,06	0,9926
Riego*Fertilizante	7774260,20	4	1943565,05	0,85	0,5164
Error	36757299,69	16	2297331,23		
Total	115141560,03	49			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1808,10161

Error: 1741278,7071 gl: 16

Riego	Medias	n		
R4	12307,14	10	A	
R3	12746,21	10	A	B
R2	13529,96	10	A	B
R0	13556,59	10	A	B
R1	14220,00	10	B	

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test: Tukey Alfa:=0.05 DMS:=292.66237

Error: 138851.9470 gl: 4

Fertilizante	Medias	n		
1	12872.65	25	A	
2	13671.31	25		B

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

Tabla 7: Análisis de la varianza para número de granos m^{-2} .

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número Granos m^{-2}	50	0.74	0.19	12.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10308872.89	33	312390.09	1.35	0.2641
Riego	186713.04	4	46678.26	0.15	0.9624
Riego*Bloque	5137182.16	16	321073.89	1.39	0.2587
Fertilizante	419802.44	1	419802.44	1.81	0.2502
Fertilizante*Bloque	930139.32	4	232534.83	1.01	0.4329
Riego*Fertilizante	469016.30	4	117254.08	0.51	0.7308
Bloque	3166019.63	4	791504.91	3.43	0.0332
Error	3694993.72	16	230937.11		
Total	14003866.61	49			

Tabla 8: Análisis de la varianza para número de hileras espiga⁻¹.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hileras	50	0.72	0.15	9.06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58.83	33	1.78	1.27	0.3140
Bloque	8.92	4	2.23	1.58	0.2266
Riego	7.57	4	1.89	1.08	0.3981
Fertilizante	1.45	1	1.45	0.56	0.4970
Riego*Fertilizante	2.53	4	0.63	0.45	0.7714
Riego*Bloque	27.98	16	1.75	1.24	0.3347
Fertilizante*Bloque	10.38	4	2.60	1.84	0.1698
Error	22.52	16	1.41		
Total	81.35	49			

Tabla 9: Análisis de la varianza para número de granos hilera⁻¹.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nro. Granos hilera ⁻¹	50	0.75	0.25	8.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	412.43	33	12.50	1.49	0.2017
Bloque	116.37	4	29.09	3.46	0.0323
Riego	67.26	4	16.81	1.55	0.2355
Fertilizante	8.00	1	8.00	1.54	0.2819
Riego*Fertilizante	26.51	4	6.63	0.79	0.5499
Riego*Bloque	173.57	16	10.85	1.29	0.3087
Fertilizante*Bloque	20.73	4	5.18	0.62	0.6576
Error	134.64	16	8.41		
Total	547.07	49			

Tabla 10: Análisis de la varianza para número de granos espiga⁻¹.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nro. granos espiga ⁻¹	50	0.74	0.19	12.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	142683.41	33	4323.74	1.35	0.2641
Bloque	43820.35	4	10955.09	3.43	0.0332
Riego	2584.27	4	646.07	0.15	0.9624
Fertilizante	5810.42	1	5810.42	1.81	0.2502
Riego*Fertilizante	6491.57	4	1622.89	0.51	0.7308
Riego*Bloque	71102.89	16	4443.93	1.39	0.2587
Fertilizante*Bloque	12873.91	4	3218.48	1.01	0.4329
Error	51141.80	16	3196.36		
Total	193825.21	49			

Tabla 11: Análisis de la varianza y test de Tukey para peso de los 1000 granos.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso 1000 granos	50	0.81	0.43	5.42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29041.07	33	880.03	2.10	0.0577
Riego	10721.54	4	2680.38	4.13	0.0174
Riego*Bloque	10389.83	16	649.36	1.55	0.1939
Fertilizante	3230.79	1	3230.79	35.66	0.0040
Fertilizante*Bloque	362.45	4	90.61	0.22	0.9252
Riego*Fertilizante	1313.07	4	328.27	0.79	0.5513
Bloque	3023.39	4	755.85	1.81	0.1767
Error	6689.56	16	418.10		
Total	35730.63	49			

Test: Tukey Alfa:=0.05 DMS:=34.91667

Error: 649.3641 gl: 16

Riego	Medias	n		
R3	364.39	10	A	
R0	365.67	10	A	
R4	369.30	10	A	B
R2	385.65	10	A	B
R1	402.54	10		B

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

Test: Tukey Alfa:=0.05 DMS:=7.47626

Error: 90.6123 gl: 4

Fertilizante	Medias	n		
2	369.47	25	A	
1	385.55	25		B

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

Tabla 12: Análisis de la varianza y test de Tukey para producción de materia seca aérea total en R6.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Materia Seca R6	20	0.97	0.84	6.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	492706091.69	15	32847072.78	7.72	0.0307
Riego	71160856.14	1	71160856.14	2.15	0.2163
Riego*Bloque	132313447.96	4	33078361.99	7.77	0.0360
Fertilizante	171507895.65	1	171507895.65	200.17	0.0001
Fertilizante*Bloque	3427245.42	4	856811.36	0.20	0.9251
Riego*Fertilizante	21812259.32	1	21812259.32	5.13	0.0863
Bloque	92484387.20	4	23121096.80	5.43	0.0650
Error	17021002.49	4	4255250.62		
Total	509727094.18	19			

Test: Tukey Alfa:=0.05 DMS:=1149.48553

Error: 856811.3558 gl: 4

Fertilizante	Medias	n		
1	29101.00	10	A	
2	34957.75	10		B

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

Tabla 13: Análisis de la varianza para índice de cosecha (IC).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Índice de Cosecha (%)	20	0.78	0.00	18.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	764.58	15	50.97	0.93	0.5984
Bloque	225.08	4	56.27	1.02	0.4914
Riego	3.12	1	3.12	0.03	0.8627
Fertilizante	36.83	1	36.83	4.23	0.1090
Riego*Fertilizante	97.68	1	97.68	1.78	0.2535
Riego*Bloque	367.01	4	91.75	1.67	0.3161
Fertilizante*Bloque	34.86	4	8.72	0.16	0.9490
Error	219.97	4	54.99		
Total	984.55	19			

Tabla 14: Análisis de la varianza y test de Tukey para EUAg.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUAg	50	0.63	0.00	11.49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.61	33	0.05	0.82	0.7001
Bloque	0.31	4	0.08	1.30	0.3133
Riego	0.10	4	0.03	0.55	0.7047
Fertilizante	0.20	1	0.20	39.81	0.0032
Riego*Fertilizante	0.22	4	0.05	0.90	0.4855
Riego*Bloque	0.76	16	0.05	0.79	0.6794
Fertilizante*Bloque	0.02	4	0.01	0.09	0.9856
Error	0.96	16	0.06		
Total	2.57	49			

Test: Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.05634

Error: 0.0051 gl: 4

Fertilizante Medias n

1	2.07 25	A
2	2.19 25	B

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

Tabla 15: Análisis de la varianza y test de Tukey para EUAms.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUAms R6	20	0.96	0.82	6.43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.28	15	0.75	6.76	0.0389
Bloque	2.68	4	0.67	6.01	0.0552
Riego	0.03	1	0.03	0.04	0.8566
Fertilizante	4.35	1	4.35	211.98	0.0001
Riego*Fertilizante	0.42	1	0.42	3.80	0.1229
Riego*Bloque	3.71	4	0.93	8.34	0.0319
Fertilizante*Bloque	0.08	4	0.02	0.18	0.9348
Error	0.45	4	0.11		
Total	11.73	19			

Test: Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.17794

Error: 0.0205 gl: 4

Fertilizante Medias n

1	4.72 10	A
2	5.66 10	B

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