

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO AGRONOMO

**CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE MAIZ Y MARCO
DE PLANTACION**

Alumno: Amador Matias Maximiliano

DNI: 26385426

DIRECTOR: Esposito, Gabriel

CO-DIRECTOR: Castillo, Carlos

RIO CUARTO, 07 DE SEPTIEMBRE DE 2007

Agradecimientos:

Este es un momento muy importante para mí y quisiera compartirlo y agradecerles, a mi madre Estela y mi hermano Ariel, por su apoyo e invaluable comprensión y además hacerles saber que sin su respaldo en todo momento esto no hubiera sido posible, a mi padre Carlos que desde el cielo está compartiendo este momento imborrable conmigo, e incluyo en mi familia a Daniela que siempre, a mi lado hizo que todo esto fuera más fácil y llevadero.

Quiero agradecer también a mis amigos profesores Gabriel, Carlos y Roberto que me hicieron sentir como en casa siempre y por último a mis amigos y a todos los que conocí durante esta etapa de mi vida y decirles que sin duda quedarán en mi memoria por siempre.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACION

TRABAJO FINAL

TITULO DEL TRABAJO FINAL: " **CONSUMO DE AGUA EN MAIZ Y MARCO DE PLANTACION** "

AUTOR: **AMADOR MATIAS MAXIMILIANO**
DNI: **26.385.426**

DIRECTOR: **ING. AGR. ESPOSITO GABRIEL**
COORDIRECTOR: **ING. AGR. CASTILLO CARLOS**

Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias del jurado evaluador.

Ing. Agr. Jose Omar Plevich

Dra. Rosana Malpassi

Ing. Agr. Raul Crespi

Fecha de presentación / /

Aprobado por secretaria académica / /

Secretario Académico

INDICE GENERAL

Certificado de Aprobación.....	3
Índice general.....	4
Índice de Figuras.....	5
Índice de Tablas.....	6
Resumen.....	7
Summary.....	8
Introducción.....	9
Hipótesis.....	11
Objetivos Generales.....	11
Objetivos Específicos.....	11
Materiales y Métodos.....	12
Resultados y Discusión.....	16
Conclusiones.....	31
Bibliografía.....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura N 1: Temperatura mínima diaria del aire del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.....	17
Figura N 2: Temperatura máxima diaria del aire del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.....	17
Figura N 3: Amplitud térmica diaria del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.....	18
Figura N 4: Precipitaciones decadas del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.....	19
Figura N 5: Radiación solar incidente del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.....	20
Figura N 6: Relación entre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y el consumo de agua para los periodos comprendidos entre siembra y R_6	28
Figura N 7: Relación entre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y el consumo de agua para los periodos comprendidos entre V_6 - V_{13} (círculos vacíos) y entre V_{13} - R_3 (círculos llenos).....	29
Figura N 8: Relación entre el rendimiento del maíz y la tasa de crecimiento (TCC) del período comprendido entre V_{13} y R_3	29
Figura N 9: Rendimiento según numero de granos.....	30
Figura N 10: Rendimiento según peso de 1000 granos.....	31

INDICE DE TABLAS

Tabla N 1: Fonología del cultivo.....	16
Tabla N 2: Precipitaciones entre etapas fonológicas y total acumulado de la Campaña 2002/03.....	19
Tabla N 3: Índice de área foliar en diferentes estadios fonológicos del maíz.....	21
Tabla N 4: Materia seca del maíz (en diferentes estadios Kg MS ha ⁻¹).....	22
Tabla N 5: Tasa de crecimiento del maíz.....	23
Tabla N 6: Lamina total de agua en mm en diferentes estadios fonológicos de Maíz.....	24
Tabla N 7: Consumo de agua entre etapas (mm).....	25
Tabla N 8: Rendimiento, componentes directos e índice de cosecha.....	27

RESUMEN

Para optimizar la productividad del cultivo de maíz, es necesario realizar modificaciones en la densidad de plantas y su marco de plantación, dada su baja capacidad de ajustar superficie foliar ante cambios en la distribución de las plantas. El propósito de este estudio es evaluar el efecto de la densidad y del espaciamiento entre hileras sobre el consumo de agua. En el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, durante la campaña 2002/03, se llevó a cabo un ensayo a campo de maíz, el cual se implantó con tres densidades de siembra y dos espaciamientos entre hileras (52 y 70 cm.). El diseño experimental fue factorial 3 x 2 (45000, 65000 y 85000 plantas ha⁻¹) con 3 repeticiones espaciales en bloques completamente aleatorios. Se evaluó el consumo de agua por etapas y total, el IAF, la biomasa aérea y el rendimiento. Los resultados indicaron que el espaciamiento entre hileras no modificó significativamente ninguno de las determinaciones realizadas. El aumento en la densidad incrementó el IAF en todos los estadios fenológicos como consecuencia del aumento del número de plantas. La producción de biomasa aérea siguió el orden 85000>65000>45000 plantas ha⁻¹ en V₆ y V₁₃, mientras que en R₃ y R₆ la biomasa producida se ordenó 85000=65000>45000 plantas ha⁻¹. El consumo de agua fue un 29,3% y un 11,9% superior a la menor densidad en 85000 y 65000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Las diferencias de rendimiento en grano observadas permitieron establecer que sólo la de 65000 plantas ha⁻¹, fue significativamente superior a las 45000 plantas ha⁻¹. Se concluye que las mayores densidades incrementaron el consumo de agua total y entre etapas, por un mayor IAF, una mayor producción de biomasa y de granos.

SUMMARY

To optimize maize crop productivity it is necessary to make adjustments to plants' density and their field spacing since maize has a low capacity to regulate leaf surface when changes in the distribution of plants occur. The purpose of this study was to evaluate the effect of density and spacing among rows in relation to water consumption. During the farm year 2002/03, at the Experimental Field of the National University of Río Cuarto, it was carried out an assay at a maize field which was sown with three seeding densities and two lines among rows. The experimental design was factorial 3x2 (3 densities, 45000, 65000 and 85000 plants per ha-1 with two lines among rows, 52 and 70 cm). Three spatial repetitions were made in randomized complete blocks. Water consumption per stages and the total, the IAF, the air biomass and yield were tested. The findings showed that the spacing among rows did not significantly modify any of the decisions made. In relation to the IAF, the rise in density increased this value in all the phenological stages as a consequence of the rise in the number of plants. The air biomass production followed the sequence 85000>65000>45000 plants per ha-1 in V6 and V13 while in R3 and R6 the biomass produced was sequenced 85000=65000>45000 plants per ha-1. Water consumption was 29, 3% and 11, 9% higher in the 85000 and 65000 densities of plants per ha-1 respectively. The yield differences observed in grain established that only the 65000 density of plants per ha-1 was significantly higher than the other two. As a conclusion, it can be said that due to a greater IAF and a greater biomass and grain production, the greatest densities increased the total water consumption and among stages.

INTRODUCCION

Al variar las densidades, manteniendo constante cultivar, ambiente y manejo, el cultivo de maíz responde en forma óptima a densidades medias (Sadras *et al.*, 2000). Mediante la elección del arreglo espacial se puede obtener, en momentos críticos, coberturas vegetales adecuadas para favorecer los factores de rendimiento. La disponibilidad hídrica modifica marcadamente la respuesta a la densidad de siembra en maíz (Andrade *et al.*, 1996). Al incrementar la densidad de plantas, aumenta la proporción del componente transpiración de la evapotranspiración, dado que la resistencia a la pérdida de agua que ofrece el cultivo es menor que la del suelo (Marcos 2000). Por esta razón un aumento en la densidad puede disminuir el contenido hídrico en el período crítico del cultivo (+/- 15 días a la floración), cuando existan sequías progresivas y severas (Vega y Andrade 2000).

En general, cultivos como maíz y girasol, con altos valores de área foliar por planta, responden menos a reducciones en el espaciamiento entre hileras que cultivos con menores valores de área foliar como la soja, aunque esta ventaja es más marcada en girasol que en maíz (Vega y Andrade 2000), porque este último tiene baja capacidad de ajustar su superficie foliar ante cambios en la densidad y distribución de plantas. Debido a esta característica, se destaca la mayor respuesta en cuanto a materia seca producida y cantidad de radiación interceptada, frente a cambios en estos factores (Andrade *et al.*, 1996).

En un sentido opuesto, una menor densidad de plantas o una distancia entre surcos más amplia aumentaría la disponibilidad de agua en los períodos críticos por el menor consumo previo, dado que se disminuye la radiación interceptada por las hojas, lo que incrementa la proporción de evaporación en la evapotranspiración durante la etapa vegetativa. Esto provoca severos efectos ante sequías progresivas (Taylor 1980). En ciertas ocasiones, el acortamiento de la distancia entre surcos puede responder favorablemente, como en los cultivos implantados bajo el sistema de siembra directa y en siembras tempranas, en cultivos híbridos de ciclo corto, estructuras de planta erecta y con pocas hojas, situaciones de deficiencias tempranas de agua o nutrientes, o que sufren daños por heladas, entre otros (Barbieri *et al.*, 2005).

La eficiencia de conversión (ec) de la radiación interceptada se ve afectada ante las variaciones en la densidad de plantas (Vega y Andrade 2000). La radiación interceptada 15 días pre y post-floración aumenta el número de granos por metro cuadrado y, por ende, se incrementa el rendimiento (Barbieri *et al.*, 2005). La mayor intercepción se debe a la mejor distribución de plantas sobre el suelo y al mayor índice de área foliar. El número de hojas y la tasa de expansión

foliar es relativamente estable (Tetio Kagho y Gardner 1988), debido a ésto el índice de área foliar (IAF) varía considerablemente al cambiar la densidad.

Un espaciamiento que permita una distribución más equidistante de las plantas produce un cierre más temprano del dosel, por lo que asegura una adecuada cobertura del suelo durante los períodos críticos para la determinación del rendimiento. Un espaciamiento más equidistante reduce el índice de área foliar requerido por el maíz, el girasol y la soja para interceptar el 95% de la radiación solar (IAF crítico) por aumentar el coeficiente de extinción del dosel (Flenet *et al.*, 1996).

Por otro lado, a principios de la década del 90, el 100% del maíz se sembraba a 70 cm, mientras que, a comienzos del 2000, la siembra del cultivo a 52 cm entre hilera comienza a ser frecuente, aunque su difusión es dispar entre zonas y los primeros cambios se registraron en áreas productivas centrales. La expansión del cultivo de soja en nuevas áreas agrícolas y la tecnología de siembra aparecen impulsando también el cambio del distanciamiento de hileras en maíz. De esta manera, la tecnología del maíz se ajusta a la capacidad operativa del cultivo de soja, de mayor impacto económico y extensión de siembra (Satorre, 2005). En Balcarce (Bs. As.), Barbieri *et al.* (2005) observaron un aumento en el rendimiento del maíz cuando se redujo la distancia entre hileras ante condiciones moderadas de estrés hídrico.

En planteos de alta producción de maíz, donde se recomiendan altas densidades, la siembra en surcos angostos no obtiene ventajas de su temprana cobertura del suelo. No obstante, puede resultar en mermas de rinde como consecuencia de la menor producción fotosintética del cultivo durante el llenado de los granos, en respuesta al empobrecimiento del ambiente lumínico del estrato inferior del canopeo activo (Borrás *et a*, 2003). Debido al importante número de granos formados en tales ambientes, se compromete el suministro de asimilados a los mismos para completar su llenado, generándose granos más livianos en surcos angostos (Cirilo, 2005). A las mermas de rinde por esta causa pueden agregarse importantes pérdidas de cosecha como consecuencia del incremento de plantas volcadas y quebradas por la mayor removilización de reservas desde las cañas hacia los granos en esas condiciones (Cirilo, 2002).

La siembra en surcos angostos puede ser planteada como una alternativa conveniente cuando la calidad del ambiente define una densidad óptima baja, cuando se siembran híbridos de plantas pequeñas con estructura erecta y poco foliosa (pisingallo), o cuando se emplean híbridos precoces de escaso porte. Del mismo modo, cuando una baja disponibilidad de nutrientes a la siembra no va a ser corregida oportunamente mediante fertilización con la consiguiente

limitación en la expansión y supervivencia de las hojas del cultivo, el empleo de una menor distancia entre surcos de siembra también puede resultar provechosa (Cirilo, 2005).

Teniendo en cuenta que los problemas de sequías temporales durante el ciclo de crecimiento del cultivo son frecuentes en el Dpto. de Río Cuarto (Seiler *et al.*, 2000), sería conveniente evaluar el efecto de esta práctica ya que podría agravar aún más el problema de déficit de agua.

HIPOTESIS

Al variar el marco de plantación en el cultivo de *Zea mays* L (Maíz), se modifica la radiación interceptada y se afecta el consumo de agua, lo cual produce diferencias en el número de granos por metro cuadrado producidos y con ello se modifica el rendimiento del cultivo.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de las distancias entre hileras y de la densidad de siembra sobre el consumo de agua, la generación del área foliar y el rendimiento del cultivo de maíz.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Determinar estadios fonológicos para cada marco de plantación utilizado en el ensayo.
- ✓ Evaluar la variación en el contenido hídrico del suelo bajo distintos marcos de plantación, en las diferentes etapas ontogénicas del cultivo de maíz.
- ✓ Determinar el índice de área foliar del cultivo en distintos estadios fenológicos.
- ✓ Relacionar parámetros de producción de biomasa, granos, con los diferentes marcos de plantación y agua en el perfil.

MATERIALES Y METODOS

La parcela destinada para la realización de dicho proyecto se encuentra ubicada en el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto. La siembra del maíz, *Zea mays* L., se realizó el 22 de Octubre de 2002, la cosecha se llevo a cabo el 5 de mayo de 2003.

Los tratamientos consistieron en combinar tres densidades de siembra y dos de espaciamento entre hileras. El diseño experimental utilizado fue en bloques completamente aleatorizados con arreglo factorial, con 3 repeticiones espaciales por tratamiento. Los factores fueron distancias entre hileras: 52 y 70 cm, y densidades de siembra 45000, 65000 y 85000 plantas por hectárea. Las parcelas fueron de 5 surcos de ancho por 10 m de largo.

El híbrido evaluado fue el DK 682 de Monsanto SA, la siembra fue manual, previa preparación de la cama de siembra con arado de rejas y vertederas y rastra de discos doble acción. En la siembra a golpe se colocó una semilla.

En todas las parcelas se realizaron los controles químicos y/o mecánicos de malezas y/o insectos que fueran necesarios para mantener el cultivo libre de los mismos.

Al estado ontogenico de V₆ (Ritchie y Hanway, 1997), se realizó una fertilización con 80 kg ha⁻¹ de urea, según recomendación realizada con el NP-Zea (Gesumaría *et al.*, 2000).

Descripción de las mediciones realizadas

Fenología del cultivo: se identificó la fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos de V₆, V₁₃, R₁, R₃ y R₆, según Ritchie & Hanway (1997).

Índice de área foliar: La evolución de dicho índice fue medida en los estadios de V₆, V₁₃, R₃ y R₆ utilizando el LAI - 2000 Plant Canopy Analyser LI-COR. Lincoln. NE. USA, realizándose tres repeticiones por parcela en cada medición.

Biomasa seca aérea total: la misma fue evaluada en V₆, V₁₃, R₃ y R₆, sobre un total de tres plantas por parcela que se encontraban en condiciones de competencia perfecta, las cuales fueron cortadas a nivel del suelo y llevadas a estufa a una temperatura de alrededor de 105 °C hasta

llegar a peso constante, posteriormente fueron pesadas en balanza de precisión. El cálculo de la biomasa total por hectárea se realizó a partir de la densidad de plantas de cada parcela.

Humedad edáfica: se determinó el contenido volumétrico de agua del suelo hasta una profundidad de 1,2 m en los estadios fenológicos de siembra: V₆, V₁₃, R₃ y R₆, mediante la utilización del TDR (Time Domain Reflectometry, Trace System Soil Moisture Equipment Corp. Santa Bárbara. CA. USA.), el cual determina la humedad volumétrica de suelo por medio de sensores específicos. Los mismos fueron instalados en el suelo a profundidades de 0 - 0,20; 0,20 - 0,40; 0,60 - 0,80 y 1 - 1,20 m de profundidad en todas las parcelas. Las profundidades no medidas a campo (0,40 - 0,60 y 0,80 - 1 m) fueron estimadas. Posteriormente los datos de humedad fueron transformados en lámina de agua a través de una regla de tres simple relacionando la medición arrojada por el TDR y la profundidad de perfil evaluada (20 cm), con ello se calculó la lámina almacenada en el suelo cada 20 cm y total hasta 1,2 m de profundidad.

Consumo de agua: se estimó a partir del método del balance hídrico simplificado planteado por Marcos. (2000), donde:

$$ET \text{ (mm)} = \text{Precipitaciones (mm)} - \text{Escurrimiento (mm)} - \text{Drenaje (mm)} +/- \Delta \text{Humedad}$$

- Precipitaciones: las mismas fueron registradas diariamente mediante la estación meteorológica automática perteneciente a la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicada a pocos metros del lugar del ensayo en el mismo campo experimental.
- Escurrimiento: el escurrimiento fue estimado mediante el método de la curva número del U.S. Soil Conservation Service que calcula el escurrimiento en milímetros de una lluvia en 24 hs a partir de un umbral crítico de escurrimiento (P_0) definido por el tipo de suelo, condiciones de superficie, pendiente y humedad retenida en el suelo en el momento de iniciarse la precipitación.

La ecuación matemática es la siguiente:

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

E : escurrimiento (mm)

Pt : precipitación en 24 hs (mm)

P_0 : umbral de escorrentía (mm)

$E = 0$ si $P_t \leq P_0$; $E \neq 0$ si $P_t > P_0$

- Drenaje: de acuerdo a Espósito (2002) se consideró a este parámetro despreciable para los objetivos del presente estudio.
- Δ Humedad: el cálculo de las diferencias en el contenido de humedad entre mediciones consecutivas se realizó a partir de los datos arrojados por el TDR entre sucesivas mediciones.

Finalmente, una vez obtenido el resultado final del balance hídrico por etapas y global se fraccionó la evapotranspiración en transpiración, que representa el consumo de agua, y evaporación directa desde el suelo a partir del uso de la fracción de intercepción que representa qué proporción de radiación es interceptada por el cultivo del total que llega a la superficie:

$$FI = 1 - \exp(-K \cdot IAF) \text{ (Marcos, 2000)}$$

Donde:

FI: fracción de intercepción

K: coeficiente de cultivo (0,45) (Andrade *et al.*, 1996)

IAF: índice de área foliar

El cálculo de la transpiración se efectuó con la siguiente ecuación:

$$\text{Transpiración} = ET * FI$$

Donde: ET: evapotranspiración (mm)

Determinación del rendimiento y componentes directos: Las espigas fueron recolectadas manualmente y luego trilladas con una desgranadora fija. Los granos obtenidos fueron luego pesados en balanza de precisión. Posteriormente, se extrajo una alícuota de cada parcela con el objetivo de realizar mediciones de humedad para posteriormente corregir el peso de los granos, calculando el rendimiento con un contenido de 14,50 % de humedad (condición de entrega) de acuerdo a la tabla de merma. El rendimiento por hectárea se calculó a partir de los datos de la superficie cosechada por parcela y el rendimiento en esa superficie. Para determinar el peso de

1000 granos, se separaron en forma aleatoria dos muestras de 100 granos de cada parcela, cada una las cuales fue pesada y corregido su peso por humedad de igual forma que para la estimación del rendimiento. Finalmente, el número de granos cosechados por metro cuadrado se obtuvo a partir de la relación:

$$\text{N}^\circ \text{ granos m}^{-2} = (\text{Rendimiento (kg m}^{-2}) * 1000) / \text{Peso de 1000 granos (kg)}$$

Análisis de la información experimental

Toda la información obtenida fue analizada estadísticamente con el ANAVA, comparación de medias según test LSD de Fisher al 5% de probabilidad y análisis de correlación y regresión lineal y polinómica, a través del programa INFOSTAT (versión 2007p).

RESULTADOS Y DISCUSION

1- Fenología

La escala fenológica para describir el ciclo del maíz es la de Ritchie y Hanway (1997). En ella se pueden describir dos grandes etapas, la vegetativa y la reproductiva. Las subdivisiones numéricas de la etapa vegetativa, identificada con la letra V, corresponden al número de hojas totalmente expandidas. La etapa reproductiva comienza con la emergencia de los estigmas R₁ y finaliza con la madurez fisiológica de los granos R₆. Las subdivisiones de la etapa reproductiva corresponden a distintos momentos del llenado de granos.

Como puede apreciarse en la Tabla 1, el cultivo cumplió su ciclo de crecimiento en 139 días, entre el 22/10/2002 y el 10/03/2003, identificándolo como un cultivar templado de ciclo intermedio, tal cual lo manifiesta la empresa Monsanto SA.

Tabla 1: Fenología del cultivo

Estado Fenológico	Fecha	Días entre periodo	Días acumulados
Siembra	22/10/2002		0
Emergencia	30/10/2002	8	8
V ₅₋₆	26/11/2002	27	35
V ₁₃	28/12/2002	32	67
R ₁	12/01/2003	15	82
R ₃	26/01/2003	14	96
R ₆	10/03/2003	43	139

Es de destacar que no se encontró diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos de densidad de siembra ni en los de distanciamiento entre hileras en relación a los estadios fonológicos del cultivo.

2- Descripción climática

La evolución de la temperatura mínima del aire durante la campaña 2002/03 y la del promedio histórico 1974/06 puede apreciarse en la Figura 1. En el mismo se puede observar que la temperatura del aire mínima diaria (2002/03) fue, en términos generales, levemente inferior

que los valores registrados en la serie 1974/06 en todos los meses que duró la experiencia a excepción de octubre.

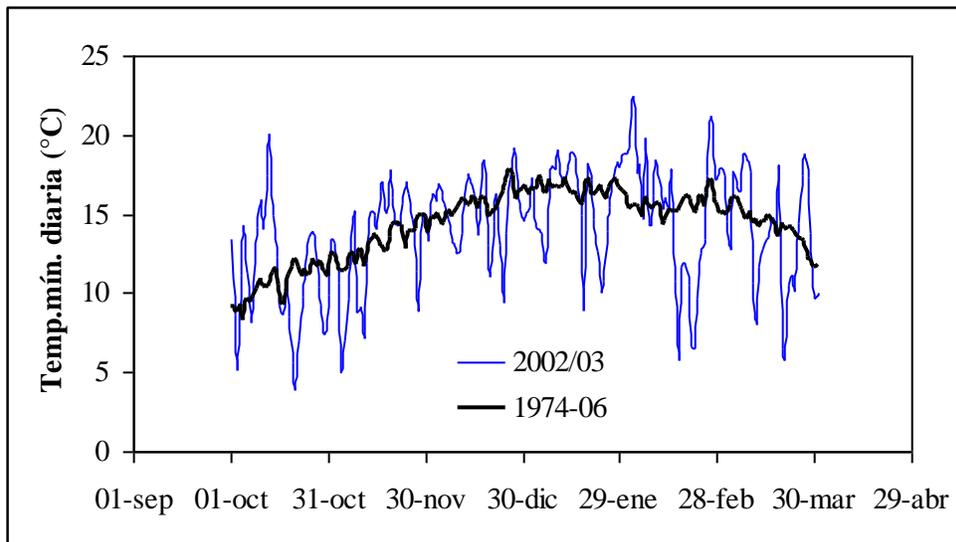


Figura 1: Temperatura mínima diaria del aire del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.

Contrariamente a lo ocurrido con las temperaturas mínimas, las registros máximos diarios fueron superiores a las del promedio 1974/06. Todos los meses evaluados presentaron mayores temperaturas máximas que las promedio, con diferencias del orden de 2,12 °C en promedio (Figura 2).

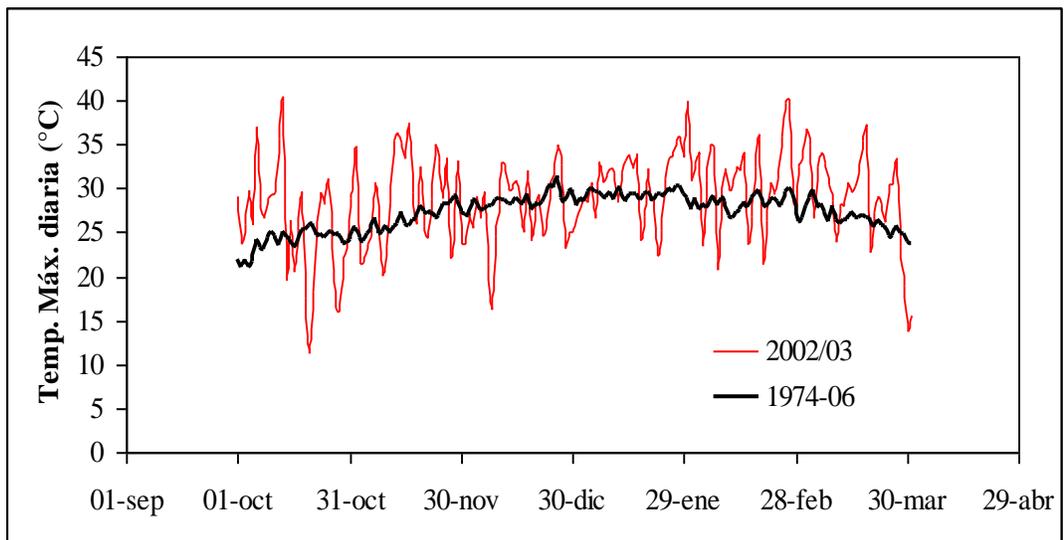


Figura 2: Temperatura máxima diaria del aire del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.

Como consecuencia de la mayor temperatura máxima y un menor registro térmico mínimo, la amplitud térmica del período Septiembre – Marzo de 2002/03 fue superior a la del promedio 1974/06 en 1,95°C (14,87°C vs 12,92°C). Esta mayor amplitud térmica favoreció el crecimiento del maíz de acuerdo a lo planteado por Andrade *et al.* (1996), dado que durante el día la eficiencia fotosintética es mayor y, durante la noche, la menor temperatura impide que la acumulación diaria de suma térmica no acorte la duración en días de las diferentes etapas (Figura 3).

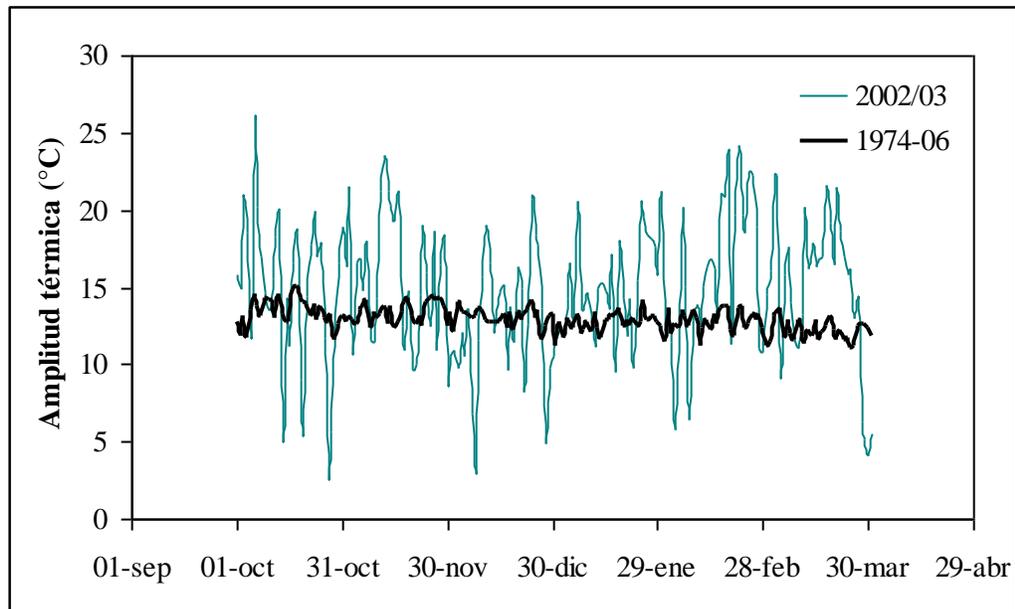


Figura 3: Amplitud térmica diaria del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.

Desde el punto de vista hídrico, las precipitaciones registradas fueron superiores a las del periodo 1974/06 hasta mediados de enero y luego comenzó un período seco que se extendió hasta la madurez fisiológica del maíz (Figura 4).

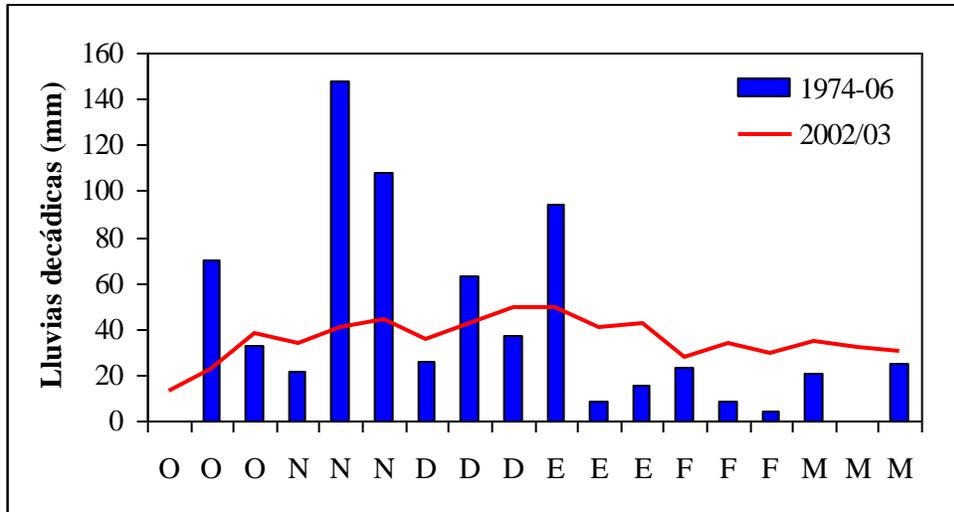


Figura 4: Precipitaciones decádicas del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.

En este sentido, la precipitación total desde siembra hasta R_6 fue de 613 mm en la campaña 2002/03, mientras que el valor promedio para el mismo período es de 564 mm. Sin embargo, hasta el 12/01/03 la lluvia caída fue de 537 mm, es decir un 87,6% del total, lo cual evidencia la escasez de lluvias entre floración y madurez fisiológica (Tabla 2).

Tabla 2: Precipitaciones entre etapas fenológicas y total acumulado de la campaña 2002/03

Etapas fenológicas	Lluvia entre etapas	Lluvia Acumulada
Siembra- V_0	33	33
V_0 - V_6	212	245
V_6 - V_{13}	164	409
V_{13} - R_1	128	537
R_1 - R_3	9	546
R_3 - R_6	67	613

La radiación solar incidente registrada en la estación meteorológica durante la campaña 2002/03 fue similar a la recabada durante el período 1974/06, tal cual puede apreciarse en la Figura 5.

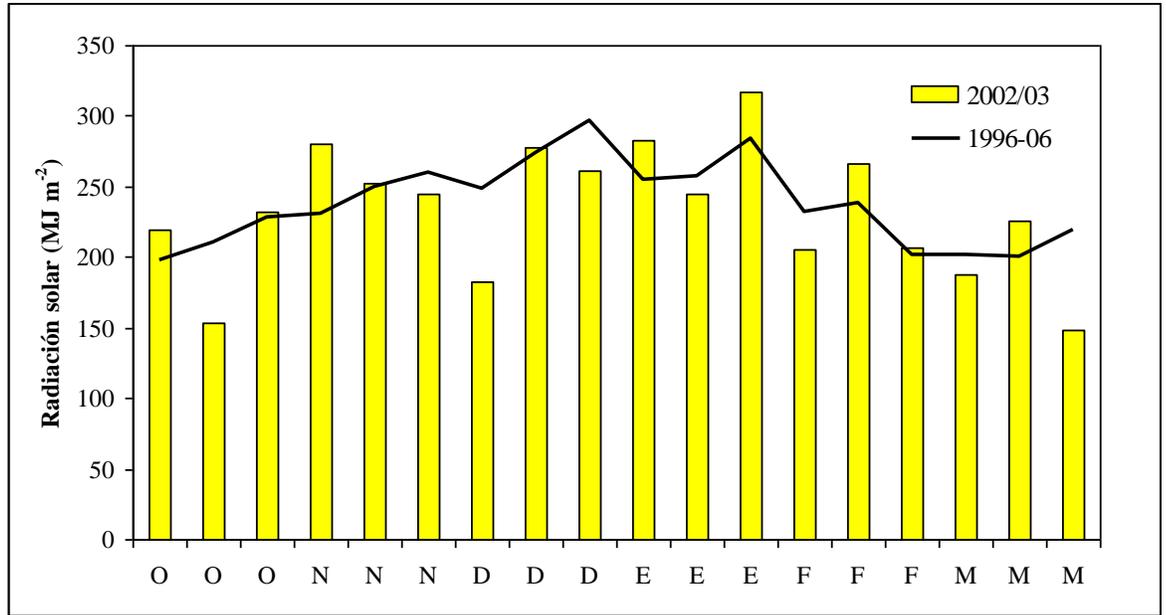


Figura 5: Radiación solar incidente del ciclo 2002/03 y del promedio 1974/06.

Como síntesis del análisis climático de la campaña 2002/03 en el sitio de estudio, se interpreta que las condiciones climáticas durante el período en el cual se desarrolló la experiencia fueron muy favorables para el cultivo de maíz, a excepción de las precipitaciones registradas entre floración y madurez fisiológica.

3- Índice de área foliar

La evolución del área foliar del maíz se puede apreciar en la Tabla 3. En la misma se puede observar que no se encontró interacción significativa entre la distancia entre hileras (DEH) y la densidad en ninguno de los estadios fenológicos evaluados. El efecto del espaciamiento entre hileras no fue significativo en ninguno de los estadios fenológicos evaluados.

Tabla 3: Índice de área foliar en diferentes estadios fenológicos de maíz

	V₆	V₁₃	R₃	R₆
85000 plantas ha ⁻¹	1.72 a	4.02 a	2.80 a	2.59 a
65000 plantas ha ⁻¹	1.00 b	3.60 b	2.68 a	2.42 b
45000 plantas ha ⁻¹	0.77 b	2.77 c	2.49 a	2.04 b
DMS (0.05)	0.23	0.34	0.75	0.49
DEH 70 cm	1.18 a	3.47 a	2.91 a	2.50 a
DEH 52 cm	1.14 a	3.45 a	2.40 a	2.20 a
DMS (0.05)	0.28	0.28	0.61	0.40
Densidad * DEH (Pr>F)	0.2601	0.2303	0.7623	0.3325
C.V. (%)	18.79	7.74	21.91	16.16

DEH, distancia entre hileras. V₆, V₁₃, R₃ y R₆: 6°-13° hoja, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). Densidad * DEH, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

En relación a las densidades, las diferencias en el índice de área foliar fueron significativas en V₆, V₁₃ y R₆. En el primer estadio analizado, V₆, el tratamiento con 85000 plantas ha⁻¹ superó a los otros dos. En V₁₃ las tres densidades presentaron diferencias estadísticas entre sí, siguiendo el orden 85000>65000>45000 plantas ha⁻¹, con diferencias a favor de las dos densidades más elevadas del orden del 45,13% y del 29,96% sobre la densidad de 45000 plantas ha⁻¹. En relación a las diferencias observadas en R₆, sólo el tratamiento con 85000 plantas ha⁻¹ supera estadísticamente a los dos restantes.

Considerando que el manejo correcto de la cantidad de plantas por unidad de superficie asegura la obtención de coberturas vegetales adecuadas y uniformes, para interceptar la máxima radiación incidente previo al momento crítico, según lo planteado por Andrade *et al.* (2002), se interpreta que los resultados presentados en la Tabla 3 son coincidentes con estos autores en relación a que con 65000 y 85000 plantas ha⁻¹ se logró un IAF superior a 3.5 (valor de IAF crítico para el maíz) al momento de V₁₃. Sin embargo, la siembra en surcos angostos no permitió incrementar el valor de IAF, según lo propuesto por Flénet *et al.* (1996), Cirilo (2000) y Maddonni *et al.* (2001), posiblemente debido a que las temperaturas durante los estadios vegetativos tempranos no fueron limitantes para el crecimiento foliar, según lo plantean estos autores (Figura 2).

4- Producción de biomasa aérea

La producción de biomasa, presentó diferencias significativas entre las tres densidades probadas en V_6 (Tabla 4). En V_{13} , la mayor densidad supera estadísticamente a las otras dos, mientras que en R_3 y R_6 , las diferencias fueron halladas solamente entre las densidades de 85000 y 65000 respecto de las 45000 plantas ha^{-1} , sin encontrar diferencias entre las dos primeras.

Similarmente a lo encontrado en relación con el IAF, el distanciamiento entre surcos no alteró la producción de biomasa, como tampoco fue significativa la interacción entre densidad y DEH en ninguno de los estadios evaluados.

La producción de biomasa aérea presentó similar comportamiento a lo presentado en relación al IAF, dado que a mayor densidad se obtuvo mayor producción de biomasa. Estos resultados son coincidentes con los propuestos por Kruk y Satorre (2004) porque la producción de biomasa se incrementa con el aumento de la densidad de plantas hasta aproximarse a un valor máximo. Esto se debe a que el aumento en la población provoca un incremento del área foliar y consecuentemente de la captación de recursos. Por este motivo es esperable que una vez alcanzado el IAF crítico no se obtenga una mayor producción de biomasa por aumentar la densidad de siembra como se observa en la Tabla 4, ya que en R_3 y R_6 no se encontraron diferencias entre las 65000 y 85000 plantas ha^{-1} .

Tabla 4: Materia seca del maíz (en diferentes estadios Kg MS ha^{-1})

	V_6	V_{13}	R_3	R_6
85000 plantas ha^{-1}	636.00 a	4833.00 a	15474.33 a	19926.33 a
65000 plantas ha^{-1}	466.00 b	3483.00 b	14292.50 a	19669.67 a
45000 plantas ha^{-1}	314.83 c	2979.83 b	11378.67 b	15680.33 b
DMS (0.05)	90.40	653.59	928.89	2029.73
DEH 70 cm	437.00 a	3659.00 a	13582.56 a	18561.00 a
DEH 52 cm	507.56 a	3871.56 a	13847.78 a	18289.89 a
DMS (0.05)	73.84	533.65	1574.93	1657.27
Densidad * DEH (Pr>F)	0.4198	0.5276	0.5559	0.8251
C.V. (%)	14.88	13.49	10.93	8.56

DEH, distancia entre hileras. V_6 , V_{13} , R_3 y R_6 : 6°-13° hoja, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). Densidad * DEH, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Como puede apreciarse en la Tabla 5, la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en el periodo V₆-V₁₃ presentó diferencias significativas entre el tratamiento con 85000 plantas ha⁻¹ y las otras dos densidades. Entre V₁₃ y R₃ los tratamientos con 85000 y 65000 difieren del de 45000 plantas ha⁻¹, mientras que entre R₃ y R₆, la mayor tasa de crecimiento fue la obtenida con la densidad intermedia.

En cuanto al distanciamiento entre hileras no se encontraron diferencias estadísticas entre ninguno de los tratamientos (52 y 70 cm), como tampoco fue significativa la interacción densidad por DEH.

Si se observa el cambio en las diferencias estadísticas presentadas en la Tabla 5, se puede comprender que inicialmente el aumento en la densidad incrementó la TCC como consecuencia del aumento en el IAF (Tabla 3). A medida que el ciclo ontogénico del maíz avanzó las diferencias en TCC fueron halladas en densidades más intermedias hasta que al final es la densidad de 65000 plantas ha⁻¹ la que presentó una mayor TCC. Estos resultados confirman los propuestos por Cirilo (2004), dado que en densidades supra óptimas la TCC se reduce por la drástica disminución en el crecimiento por planta y en densidades sub óptimas el crecimiento no puede ser compensado por la escasa plasticidad del maíz.

Tabla 5: Tasa de crecimiento del maíz

	V₆-V₁₃	V₁₃-R₃	R₃-R₆
85000 plantas ha ⁻¹	4196.67 a	10809.83 a	4195.33 b
65000 plantas ha ⁻¹	3017.17 b	10641.67 a	5633.83 a
45000 plantas ha ⁻¹	2665.67 b	8398.67 b	4301.67 b
DMS (0.05)	694.03	1598.27	911.77
DEH 70 cm	3222.22 a	9923.56 a	4978.33 a
DEH 52 cm	3364.11 a	9976.56 a	4442.22 a
DMS (0.05)	566.67	1304.98	744.46
Densidad * DEH (Pr>F)	0.5734	0.6255	0.2560
C.V. (%)	16.38	12.49	15.05

DEH, distancia entre hileras. V₆, V₁₃, R₃ y R₆; 6^o-13^o hoja, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). Densidad * DEH, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

5- Lámina de agua

En la Tabla 6, la cantidad total agua (evaluada como lámina en el primer metro del suelo) presentó diferencias significativas debidas a los tratamientos de densidad solamente en V_6 y V_{13} .

En relación a los efectos causados por cambios en la densidad, en V_6 , la mayor cantidad de plantas presentó una menor lámina de agua que las otras densidades. En V_{13} , 65000 plantas ha^{-1} contenía una mayor lámina de agua que 45000 y 85000 plantas ha^{-1} . Estos resultados permiten interpretar que la densidad de plantas alteró la disponibilidad de agua en los estadios iniciales del crecimiento posiblemente debido al mayor consumo por mayor población. Como fue indicado en el análisis climático de la campaña 2002/03, las precipitaciones posteriores a la floración fueron inferiores a la media y el efecto de la densidad sobre la disponibilidad hídrica desaparece como consecuencia del escaso contenido de humedad del suelo en el primer metro de profundidad (Figura 4).

El distanciamiento entre hileras modificó la lámina de agua del suelo en V_{13} , R_3 y R_6 , donde la mayor separación (70 cm) permitió encontrar un mayor contenido hídrico en el momento en el cual las precipitaciones fueron más escasas. Las diferencias a favor del mayor espaciamiento fueron del orden del 9,89 %, 12,26 % y del 12,75% para V_{13} , R_3 y R_6 , respectivamente.

Tabla 6: Lámina total de agua en mm en diferentes estadios fenológicos de maíz

	Siembra	V_6	V_{13}	R_3	R_6
85000 plantas ha^{-1}	277.33 a	229.83 b	139.83 b	117.67 a	119.83 a
65000 plantas ha^{-1}	275.33 a	246.50 a	156.67 a	124.67 a	133.50 a
45000 plantas ha^{-1}	273.83 a	250.00 a	138.67 b	118.67 a	122.17 a
DMS (0.05)	10.80	15.05	9.02	12.81	14.10
DEH 70 cm	275.78 a	242.78 a	151.89 a	127.44 a	132.67 a
DEH 52 cm	275.22 a	241.44 a	138.22 b	113.22 b	117.67 b
DMS (0.05)	8.82	12.78	7.37	10.46	11.51
Densidad * DEH (Pr>F)	0.6041	0.7711	0.0558	0.4722	0.2288
C.V. (%)	3.05	5.03	4.84	8.27	8.75

DEH, distancia entre hileras. V_6 , V_{13} , R_3 y R_6 : 6°-13° hoja, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). Densidad * DEH, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

6- Consumo de agua

El consumo de agua entre estadios presentó idénticas diferencias significativas en las dos primeras etapas evaluadas (siembra - V_6 y $V_6 - V_{13}$) (Tabla 7). En este sentido, los tratamientos con las menores densidades de siembra consumieron una menor cantidad de agua que el de 85000 plantas ha^{-1} .

Tabla 7: Consumo de agua entre etapas (mm)

	Siembra- V_6	$V_6 - V_{13}$	$V_{13} - R_3$	$R_3 - R_6$	Siembra- R_6
85000 plantas ha^{-1}	74.11 a	167.82 a	122.51 a	45.19 a	409.63 a
65000 plantas ha^{-1}	46.18 b	141.93 b	125.39 a	39.12 a	352.62 b
45000 plantas ha^{-1}	37.37 b	132.57 b	107.17 b	39.73 a	316.84 c
DMS (0.05)	9.92	12.99	12.88	14.18	30.55
DEH 70 cm	51.86 a	143.93 a	121.26 a	43.02 a	360.06 a
DEH 52 cm	53.25 a	150.95 a	115.45 a	39.68 a	359.33 a
DMS (0.05)	8.10	15.9	10.51	11.58	24.95
Densidad * DEH (Pr>F)	0.2332	0.5729	0.8232	0.5103	0.8227
C.V. (%)	14.68	8.39	8.46	26.66	6.60

DEH, distancia entre hileras. V_6 , V_{13} , R_3 y R_6 ; 6°-13° hoja, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). Densidad * DEH, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Durante la tercera etapa analizada ($V_{13} - R_3$) el tratamiento con 45000 plantas ha^{-1} consumió estadísticamente menor cantidad de agua que los otros dos, mientras que en la última etapa de medición no se encontraron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos.

El consumo de agua entre siembra y R_6 presentó diferencias entre las tres densidades analizadas siguiendo el orden 85000>65000>45000 plantas ha^{-1} .

La DEH no modificó el consumo de agua total en ninguna de las etapas fenológicas analizadas, como así tampoco fue significativa la interacción densidad por distancia entre hileras. En este sentido, es necesario aclarar que si bien la distancia de 70 cm presentó una mayor lámina que la de 52 cm en V_{13} , R_3 y R_6 , la magnitud de las diferencias (cercanas al 10%) no permitieron incrementar el consumo del maíz.

De acuerdo a lo expresado por Cirilo (2004), la proporción de hojas que reciben luz solar directa reduce la interceptada por el suelo descubierto, lo cual incrementa el consumo de agua

por el cultivo en condiciones de secano, dado que el follaje ofrece menos resistencia a la pérdida de agua que el suelo seco en superficie. Esta situación puede intensificar los efectos negativos de la ocurrencia de una sequía progresiva sobre la floración. Como se puede apreciar en la Figura 4, el maíz del presente estudio recibió importantes precipitaciones desde siembra hasta floración, razón por la cual no se pudieron apreciar los efectos del estrés hídrico sobre el consumo de agua y de floración en adelante las diferencias de oferta no justificaron cambios en el consumo como fue planteado anteriormente. Por lo tanto, si bien el consumo de agua fue incrementado por la densidad no se observaron efectos detrimentales sobre la producción del maíz.

7- Rendimiento y componentes

El rendimiento en grano presentó diferencias significativas entre las tres densidades probadas, siguiendo el orden 65000>85000=45000 plantas ha⁻¹, siendo las diferencias del orden del 40,8% y del 15,04% a favor 65000 sobre 45000 y 85000 plantas ha⁻¹, respectivamente (Tabla8). Esta diferencia de producción es explicada por el mayor número de granos m⁻² obtenidos con 65000 plantas, la cual obtuvo un 47,5% más de granos que en 45000 plantas ha⁻¹ y un 19,14% más que 85000. En el peso de 1000 granos y en el índice de cosecha no se encontraron diferencias entre los tratamientos evaluados.

En relación a los tratamientos con distintos espaciamientos entre hileras no se encontraron diferencias significativas como tampoco a nivel de la interacción densidad por DEH.

Dado que el rendimiento por unidad de área del maíz presenta una marcada respuesta parabólica con el aumento en la densidad (Andrade *et al.*, 1996), se puede interpretar que la mayor producción de granos haya sido obtenida con la densidad intermedia (Tabla 8). Además, mientras que el rendimiento por planta disminuye con aumentos en la densidad, el rendimiento del cultivo se incrementa hasta un máximo a partir del cual el aumento en el número de individuos lo reduce marcadamente, como consecuencia de la disminución en la fijación de granos por m² (Kruk y Satorre, 2004).

Tabla 8: Rendimiento, componentes directos e índice de cosecha

	Rto	Nº granos m⁻²	Peso 1000 granos	I.C. (%)
85000 plantas ha ⁻¹	8148.00 b	3432 b	239.83 a	0.46 a
65000 plantas ha ⁻¹	9373.67 a	4089 a	229.00 a	0.44 a
45000 plantas ha ⁻¹	6653.83 c	2772 c	240.67 a	0.44 a
DMS (0.05)	1160.91	653.35	15.85	0.05
DEH 70 cm	7878.33 a	3349 a	236.44 a	0.43 a
DEH 52 cm	8238.67 a	3513 a	236.56 a	0.47 a
DMS (0.05)	947.88	533.46	12.94	0.05
Densidad * DEH (Pr>F)	0.761	0.8915	0.9823	0.7749
C.V. (%)	11.20	14.80	5.21	8.81

DEH, distancia entre hileras. V₆, V₁₃, R₃ y R₆; 6º-13º hoja, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). Densidad * DEH, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Estos resultados son coincidentes con lo presentado por Farnham (2001), dado que la densidad óptima de siembra fue independiente de la distancia entre surcos. Si embargo contradicen a los propuestos por Widdicombe y Thelen (2002), los cuales evaluando acortamiento y densidades en el mismo ambiente hallaron aumentos significativos del rendimiento del 2 y 4% por estrechar surcos de 76 a 56 y 38 cm, respectivamente, y en forma consistente en 11 localidades.

8- Relaciones entre variables

Como puede observarse en la Figura 6 la biomasa aérea acumulada entre siembra y madurez fisiológica se incrementa linealmente a razón de 36,7 kg MS ha⁻¹ por cada mm de agua consumida, no obstante ello, el coeficiente de regresión lineal fue del 45,13%, es decir con escasa dependencia entre variables. Estos resultados son coincidente con lo observado por Espósito (2002), el cual analizó la correlación entre la producción de biomasa aérea y la disponibilidad hídrica, encontrando que la misma es variable en función del estadio fenológico y, por ende, es conveniente realizar un estudio entre etapas.

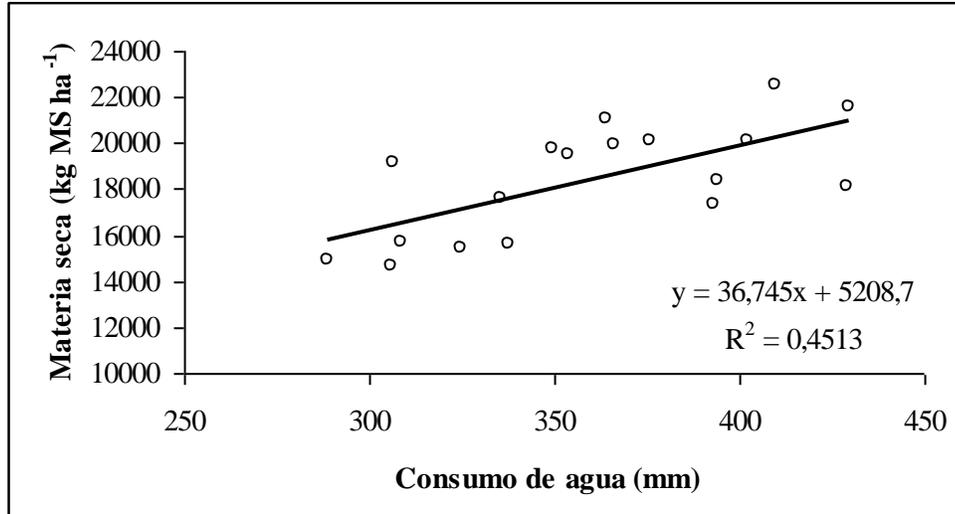


Figura 6: Relación entre la materia seca aérea acumulada en madurez fisiológica (R_6) y el consumo de agua para el periodo comprendido entre siembra – R_6 .

En función de que el crecimiento del maíz depende de la capacidad de realizar fotosíntesis y, por ende, del consumo de agua que el mismo realice, se puede interpretar en la Figura 7 que, entre las etapas ontogénicas de $V_6 - V_{13}$, la tasa de crecimiento se relacionó linealmente con el consumo de agua, donde por cada mm consumido la TCC se incrementó en $36,85 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Como consecuencia del incremento del IAF entre V_6 y V_{13} , la relación entre el consumo de agua y la TCC para el período entre V_{13} y R_3 presentó una mayor pendiente ($111,04 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Estos resultados son coincidentes con lo planteado por Dardanelli *et al.* (2004), dado que existe simultaneidad entre los procesos de entrada de CO_2 y salida de H_2O , hacia y desde la cámara subestomática y, por ello, es esperable que la tasa fotosintética resulte proporcional al consumo de agua. Por otro lado, a medida que el cultivo crece predomina el componente transpiratorio de la evapotranspiración, pues al ser la radiación interceptada por los tejidos vegetales, se incrementa el consumo de agua (Andrade *et al.*, 1996).

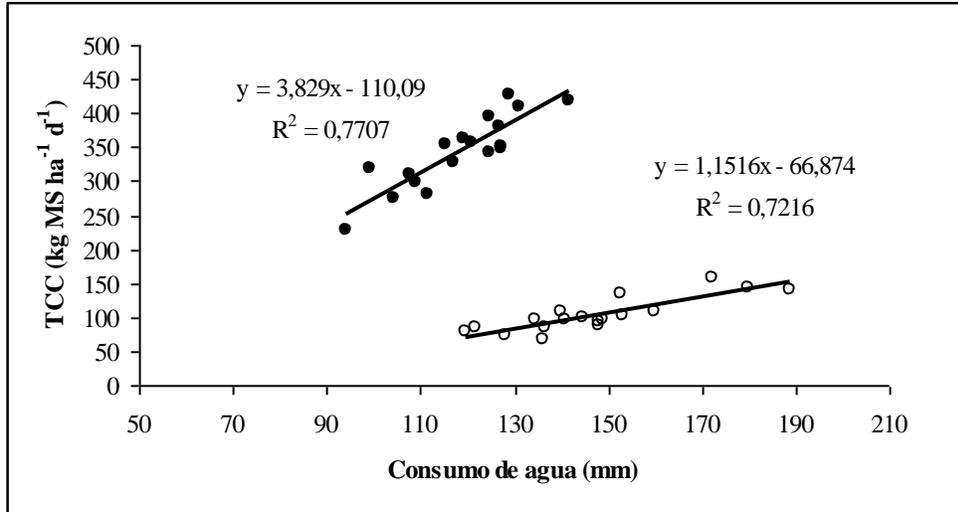


Figura 7: Relación entre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y el consumo de agua para los periodos comprendidos entre $V_6 - V_{13}$ (círculos vacíos) y entre $V_{13} - R_3$ (círculos llenos).

En relación al rendimiento del maíz, se puede observar en la Figura 8 que la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante el período crítico V_{13} y R_3 presenta un relación lineal del 67% con el rendimiento, donde por cada incremento de la TCC la producción de grano aumenta a razón de $0,75 \text{ kg ha}^{-1}$. Esta situación pone de manifiesto la importancia de las condiciones de crecimiento durante el período considerado crítico para el rendimiento del maíz, $V_{13} - R_3$ según Otegui y Andrade (2000). Estos resultados concuerdan con lo expresado por Esposito (2002) en donde se menciona que una mayor oferta ambiental permite crecer a una mayor TCC.

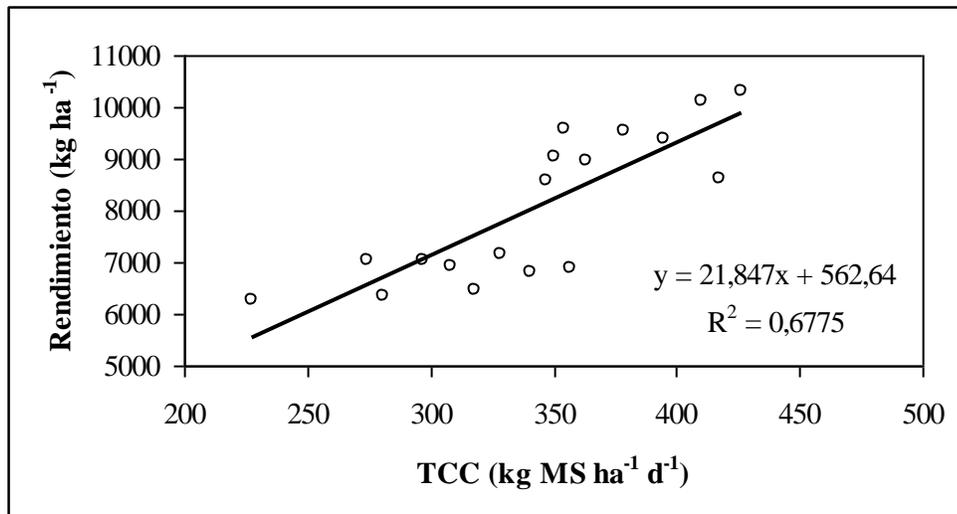


Figura 8: Relación entre el rendimiento del maíz y la tasa de crecimiento (TCC) del período comprendido entre V_{13} y R_3 .

En maíz, el rendimiento está más asociado al número final de granos logrados que al peso de los mismo, como lo demuestran los elevados coeficientes de correlación que se encuentran entre el número de granos y el rendimiento (Cárcova *et al.*, 2004). En consecuencia con esta afirmación se puede observar en la Figura 9 el elevado coeficiente de regresión lineal entre el número de granos por metro cuadrado y el rendimiento en grano, donde por cada grano más fijado la producción aumenta en 1,95 Kg ha⁻¹, resultados similares también fueron encontrados por Andrade *et al.* (1996).

La determinación del número final de granos m⁻² fue establecida por Otegui y Bonhomme (1998) en el período comprendido entre unos 227°C d⁻¹ previo a la aparición de estigmas (R₁) hasta unos 150-235°C d⁻¹ postfloración femenina según el híbrido a utilizar. Coincidentemente con estos autores, la fecha de ocurrencia de inicio y fin del período crítico para la determinación del número de granos (V₁₃ y R₃) se estableció 215,52°C d⁻¹ antes y 203,13°C d⁻¹ posteriores a la aparición de estigmas (R₁).

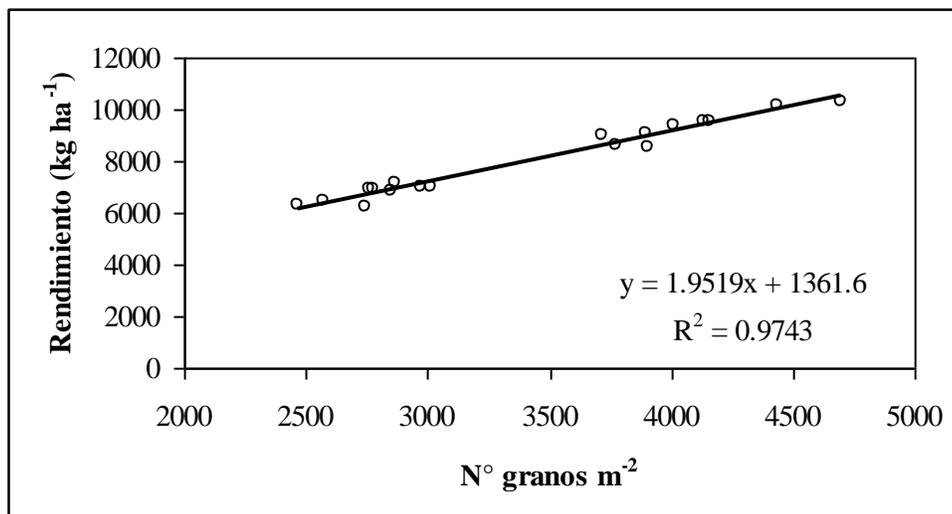


Figura 9: Rendimiento según Nº de granos m⁻².

De acuerdo a lo planteado anteriormente, el peso de los granos presenta una menor correlación con el rendimiento que el número de granos producidos por metro cuadrado (Figura 10). De acuerdo a lo planteado por Andrade *et al.* (1996) el peso de los granos es un componente de alta heredabilidad genética y, por lo tanto, menos influenciado por el ambiente. Por estas consideraciones, la relación lineal entre el rendimiento del maíz y el peso de sus granos fue de sólo el 42,43%.

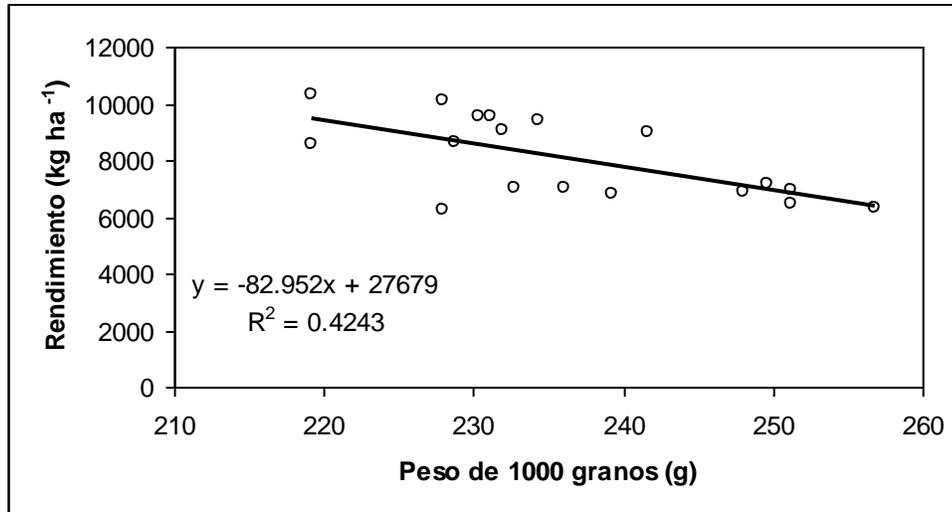


Figura 10: Rendimiento según peso de 1000 granos.

CONCLUSIONES

No se han detectado cambios en la fenología del maíz por cambios en la distancia entre hileras ni en las densidades de siembra.

La disponibilidad de agua como lámina total en el primer metro del suelo, fue alterada por las densidades de siembra evaluadas, principalmente en los estadios tempranos del crecimiento de maíz, de modo que una mayor densidad disminuye el contenido hídrico del suelo.

El distanciamiento entre hileras alteró la disponibilidad de agua sólo en los estadios finales del cultivo coincidentemente con la ocurrencia de escasas precipitaciones, aunque éstas diferencias no modificaron el consumo del maíz.

El índice de área foliar fue solamente modificado por la densidad poblacional y no por la distancia entre surcos, donde el aumento de la cantidad de plantas incrementó el valor de IAF.

Se han encontrado ajustes lineales entre la TCC en el período de determinación del rendimiento y el consumo de agua del maíz, el número de granos m⁻² y la TCC del periodo V₁₃ - R₃ y entre el rendimiento y el número de granos m⁻².

Finalmente para las condiciones climáticas y edáficas bajo las cuales se desarrolló la experiencia, la densidad óptima de siembra del maíz fue de 65000 plantas ha⁻¹, independientemente de la distancia entre surcos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE F., A. CIRILO, S. UHART, M. OTEGUI. 1996. Requerimientos hídricos. En: Ecofisiología del cultivo de maíz. Eds. Andrade. La Barrosa. Capítulo 5 :121-146.
- ANDRADE, F.; CALVIÑO, P.; CIRILO A.; BARBIERI P. 2002. Yield Responses to Narrow Rows Depend on Increased Radiation Interception. *Agron. J.* 94: 975-980.
- BARBIERI P.; H. ECHEVERRÍA y H. SAINZ ROZAS 2005. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la reducción de la distancia entre hileras y al agregado de nitrógeno en seco. VII Congreso Nacional de maíz. Trabajos presentados y resumen de conferencias. Rosario. Santa Fe.:111-113.
- BORRÁS, L.; G. MADDONNI; M. OTEGUI. 2003. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. *Field Crop Res.*, 82: 13-26.
- CARCOVA, J.; L. BORRAS Y M. OTEGUI. 2004. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del Maíz. En: Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, pp. 135-157
- CIRILO, A. 2000. Distancia entre surcos en maíz. *Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino. Vol.V Nro. 14, Segundo Cuatrimestre: Mayo/Agosto:19-23.*
- CIRILO, A. 2002. Los surcos angostos en maíces de alta producción. *Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino. Vol.VII Nro. 21, Tercer Cuatrimestre: Setiembre/Diciembre:12-15.*
- CIRILO A. 2004. Elección de híbridos de maíz y su respuesta a la densidad y distanciamiento. *Mundo Maíz. Actas del Congreso. Bs. As.:29-35.*
- CIRILO A. 2005. Distancia entre surcos: criterios para su manejo en el cultivo de maíz. VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario. Argentina: 433-434.
- DARDANELLI J., D. POLLINO, M. OTEGUI Y V. SADRAS. 2004. Bases funcionales para el manejo de agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: Producción de

- Granos. Bases funcionales para su manejo. Eds. Satorre. Facultad de Agronomía de la UBA. Capítulo 16:375-440.
- ESPOSITO, G. 2002. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranza en el cultivo de maíz. Tesis M. Sc Producción Vegetal. FAV-UNRC.:113.
- FARNHAM D. 2001. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. *Agron. J.* 93:1049-1053.
- FLENET, F., J.R. KINIRY, J.E. BOARD, M.E. WESTGATE y D.C. REICOSKY. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. *Agron. J.* 88:185-190.
- GESUMARIA, J.; C. CASTILLO; G. ESPOSITO; R. BALBOA. 2000. NP-Zea ~ Programa para el cálculo de dosis de nitrógeno y fósforo. Registro del derecho de autor DNDA Exp. 97476. 13/11/2000.
- KRUK B., E. SATORRE. 2004. Densidad y arreglo espacial del cultivo. En: Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Eds. Satorre. Facultad de Agronomía de la UBA. Capítulo 13:279-316.
- MADDONNI, G.A., OTEGUI, M. E., CIRILO, A.G. 2001. Plant population density, row spacing, and hybrid effects on maize canopy architecture and light interception. *Field Crop Res.* 71:183-193.
- MARCOS J. 2000. Simulation based assesmentaf alternative crops in the dryland Pacific Northwest. Thesis of Ph. D. in Soils. Washington State University. Department Crop and Soils Sciences. USA.
- OTEGUI, M.E.; ANDRADE, F.H. 2000. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: Physiology and modelling kernel set in maize. CSSA Special Publication Number 29.
- OTEGUI, M.E.; R. BONHOMME 1998. Grain yield components in maize. I Ear growth and kernel set. *Field Crop Res.* 56:247-256.
- RITCHIE W. and J. HANWAY 1997. How a corn plant develops. Special Reports N° 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa:21 pp.
- SADRAS, V., M. FERREIRO, F. GUTHEIM y A. KANTOLIC. 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo . En: Andrade, F. y V., Sadras. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Médica Panamericana. Cap. 2, p. 29-60.

- SATORRE , E. 2005. El arreglo espacial de las plantas del cultivo de maíz. Tendencias y efecto en los planteos de la región pampeana. VIII Congreso Nacional de Maíz. Trabajos presentados. Rosario. Argentina: 430-432.
- SEILER, R. A.; F. KOGAN y GUO WEI 2000. Monitoring weather impact and crop yield from NOAA.
- TAYLOR, H.M. 1980. Soybean growth and yield as affected by row spacing and by seasonal water supply. Agron. J. 72:513–547.
- TETIO KAGHO, F. y F. GARDNER. 1988. Responses of maize to plant population density I. Canopy development light relationships and vegetative growth. Agronomy Journal 80: 930-935 .
- VEGA, C. y F. ANDRADE 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. En: Andrade, F. y V. Sadras. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Médica Panamericana. Cap. 4, p.97-133.
- WIDDICOMBE, W., K. THELEN. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the Northern Corn Belt. Agron. J. 94:1020-1023.