



Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego
complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes

Maize production under different complementary irrigation
regimes in Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
I. Yield and grain yield components

Ana Rosa Rivetti

Originales

Recepción: 06/04/2006

Aceptación: 04/09/2006

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cultivos de la Pampa Húmeda de Argentina. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos del riego complementario sobre el rendimiento de grano y sus componentes. El mismo se llevó a cabo en el ciclo agrícola 2001-2002, en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se usó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Para efectuar la programación de los diferentes riegos se dividió el ciclo del cultivo en tres etapas: precrítico, crítico y poscrítico. Para la determinación del momento de riego se realizó un balance hídrico. El rendimiento de grano no mostró diferencias significativas en los cuatro tratamientos con riego, sin embargo, hubo diferencia significativa ($\alpha = 0,05$) entre los tratamientos regados y no regados. En promedio el rendimiento en grano en los tratamientos regados fue de 72 % mayor que en el tratamiento sin riego. Los componentes del rendimiento fueron afectados significativamente ($\alpha = 0,05$) por la falta de riego. La cantidad de agua aplicada varió entre 360 y 300 mm y el agua total consumida en el ciclo del cultivo (según el balance hídrico) fue para los tratamientos con riego, de 575 mm y para el testigo de 308 mm. La eficiencia del uso de agua para grano fue de $2.75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, en promedio.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is one of the major crops grown in Humid Pampas of Argentina. The objective of this paper was to assess the impact of complementary irrigation on maize grain yield and its components. This research work was carried out during the 2001-2002 agricultural cycle at the experimental field site of the National University of Río Cuarto. A randomized complete design with 5 treatments and 4 replications was used. In order to schedule irrigations, the crop cycle was divided in three stages: pre-critical, critical and post-critical. Irrigation scheduling was based on a water balance. Grain yield showed no significant differences in the four irrigated treatments; however, there were significant differences ($\alpha = 0.05$) between irrigated and rain fed treatments. On average, grain yield with the irrigated treatments was 72 % higher than with the rain fed treatment. Yield components were greatly affected ($\alpha = 0.05$) by lack of irrigation. The amount of water applied ranged between 360 and 300 mm; total crop water use was 575 mm in the case of irrigated treatments, and 308 mm with the control. Grain water use efficiency, average, was $2.75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Palabras clave

maíz • riego complementario • producción • eficiencia de uso del agua

Key words

maize • complementary irrigation • yield • water use efficiency

INTRODUCCIÓN

El maíz, por su producción de grano, ocupa el primer lugar en el mundo (8). El área sembrada en Argentina en las últimas tres décadas disminuyó un 20 % pero el rendimiento promedio aumentó en forma considerable, desde 2700 kg.ha⁻¹ en la década del 70 a 6400 kg.ha⁻¹ en la actualidad. Esto se debió a la incorporación de materiales híbridos, nuevas medidas tecnológicas, incremento del área fertilizada, siembra directa y riego complementario. Además, este cultivo es importante en la zona de Río Cuarto (Córdoba, Argentina) ya que el 40 % de la superficie sembrada en la provincia corresponde a esta zona.

Dardanelli (4) afirma que el riego complementario en el área central de Córdoba permitiría duplicar el rendimiento de los principales cereales y oleaginosas que se producen. El rendimiento del cultivo de maíz depende de la cantidad de agua disponible para evapotranspirar. Doorenbos y Pruitt (6) mencionan que el maíz evapotranspira entre 400 y 700 mm en su ciclo, según condiciones ecológicas.

El déficit de riego afecta el rendimiento, tal lo planteado por Pandey et al. (20), quienes trabajaron en un ambiente semiárido y produjeron déficit hídrico en estadios específicos de crecimiento, y el efecto final del estrés fue aditivo y proporcional a la cantidad de agua aplicada. Los requerimientos hídricos del cultivo de maíz son variables en las diferentes etapas de su ciclo productivo. Estas necesidades se incrementan progresivamente desde emergencia hasta el estadio de 9 - 10 hojas, para llegar al máximo de necesidades diarias desde este estadio hasta principio de espigazón. De aquí en adelante van decreciendo gradualmente hasta madurez fisiológica (17).

El maíz parece ser relativamente tolerante al déficit hídrico durante el período vegetativo y el de maduración. La mayor disminución de los rendimientos de grano la ocasiona el déficit hídrico durante el período de floración, incluyendo la formación de la inflorescencia, la formación del estigma y la polinización, debido principalmente a una reducción del número de granos por mazorca. Este efecto es menos pronunciado cuando, en el período vegetativo precedente, la planta ha sufrido déficit hídrico. En el período de formación de grano, el déficit hídrico provocaría disminución del rendimiento debido al menor tamaño del grano (7).

En ensayos realizados en Manfredi, provincia de Córdoba, Martelotto et al. (16) determinaron los consumos de agua para maíz, en tres ciclos agrícolas, variando entre 566,2 mm y 759,2 mm con producciones entre 7300 y 10000 kg.ha⁻¹.

En los últimos años se difundió en Río Cuarto el uso de máquinas autopropulsadas de riego presurizado para complementar el agua de lluvia. Con el manejo adecuado de ellas se puede maximizar la producción, sostener una rentabilidad económica y mantener el equilibrio en el sistema agua-suelo-planta-atmósfera. Puiatti et al. (22) comprobaron, en evaluaciones de equipos de riego presurizado de la zona, que no se realizan programaciones de riego basadas en las reales necesidades hídricas de los cultivos, sino sólo en la operatividad de los equipos de riego. Con programaciones adecuadas de riego y con altos coeficientes de uniformidad se conseguiría aumentar la eficiencia de riego y se aseguraría una alta producción, en el marco de una agricultura sostenible.

Objetivo

- Evaluar los efectos del riego complementario sobre el rendimiento en grano de maíz y sus componentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el ciclo agrícola 2001/2002, en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, sobre un suelo Hapludol típico. El diseño experimental utilizado fue de parcelas completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Las parcelas tenían una superficie de 350 m².

Con la finalidad de efectuar la programación de los diferentes riegos, el ciclo del cultivo se dividió en las siguientes etapas (9, 17):

1. desde siembra hasta 12 hojas;
2. desde 12 hojas hasta principio de grano lechoso;
3. desde grano lechoso hasta madurez fisiológica.

Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: Riego durante todo el ciclo, llevando la humedad a capacidad de campo y realizando la reposición al consumirse una lámina neta de 30 mm.

T2: Riego en la primera etapa con una lámina neta de 30 mm sólo cuando el agua consumida representaba el 60 % del agua útil (agua remanente 40 %). En la segunda y tercera etapa, luego de llevar el nivel hídrico a capacidad de campo, reposiciones periódicas cuando se consumían 30 mm de lámina.

T3: Partiendo con una humedad a capacidad de campo, riego en la primera y segunda etapa cuando se consumían 30 mm de lámina y en la última con una aplicación de 30 mm, sólo en aquellos casos que se consumía el 60 % del agua útil.

T4: Considerando en la etapa 2 el riego necesario para el mantenimiento del nivel hídrico entre capacidad de campo y 30 mm de consumo mientras que en las etapas 1 y 3 riego con una lámina de 30 mm cuando se consumía el 60 % del agua útil.

T5: Testigo, sujeto sólo al aporte hídrico de las precipitaciones.

La siembra se realizó el 1 de octubre de 2001, con una densidad de 85000 semillas.ha⁻¹, empleando un híbrido simple de NIDERA (AX 884). En todos los tratamientos se fertilizó a razón de 46 kg N.ha⁻¹ y 25 kg P.ha⁻¹ a la siembra (con urea y fosfato diamónico) y entre los estadios de 7° y 8° hojas con 92 kg N.ha⁻¹ con urea.

La determinación del momento de riego se realizó mediante un balance del agua en el suelo, regando cuando se había llegado al nivel de agotamiento permisible y aportando la cantidad de agua que se estipula en los distintos tratamientos.

El balance se estableció por medio de la ecuación de balance de Grassi (10):

$$d_n = d_{n-1} + Pe + R - ETr - Pp$$

donde:

d_n : Lámina de agua en el suelo el día n (mm).

d_{n-1} : Lámina de agua en el suelo el día n-1 (mm). En el inicio del balance representa la lámina inicial.

Pe: Precipitación efectiva (mm). Estimada por el método de «Bureau of Reclamation» de los EE.UU. (6).

R: Riego (mm).

ETr: Evapotranspiración real del cultivo (mm.día⁻¹) (ETr = ETo × Kc × Kh).

ETo: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.día⁻¹).

Kc: Coeficiente de cultivo.

Kh: Coeficiente de humedad del suelo.

Pp: Percolación profunda (mm).

La lámina inicial de la parcela se midió al momento de la siembra hasta una profundidad de 60 cm y fue de 181,17 mm, producto de las lluvias precedentes a la fecha de siembra. La lámina a capacidad de campo fue de 171,78 mm, lámina con la cual se inicia el balance, estimándose como percolación la fracción de lámina inicial que supera este valor.

Los datos climáticos requeridos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica que la Facultad de Agronomía y Veterinaria cuenta en el Campo Experimental donde se realizó el ensayo.

Para la determinación de la ETr se calculó la ETo a partir de los registros de Evaporación del Tanque estándar Tipo "A". El coeficiente de cultivo (Kc) se obtuvo por el procedimiento de FAO (6): se emplearon los datos climáticos y los de fenología del cultivo de maíz del ensayo realizado, en el mismo campo experimental, en el ciclo agrícola 2000/01 (23). El coeficiente de humedad del suelo (Kh) se obtuvo mediante la relación dada por Jensen et al. (13)

$$Kh = \frac{[\ln(Aw + 1)]}{[\ln(101)]}$$

siendo Aw el porcentaje de agua disponible: relación entre la lámina de agua remanente (dr) en el suelo y la lámina total (dt) de agua disponible para la evapotranspiración ((dr/dt)×100). Cuando el suelo está en capacidad de campo toma valor 100, y Kh = 1.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros físicos e hídricos del suelo.

Tabla 1. Parámetros físicos e hídricos del suelo del lote del ensayo

H	Z (mm)	ρ_s (gr.cm ⁻³)	Ws	Wc (g%g)	Wm	dWs	dWc (mm)	dWm	dWu
A	100	1,28	40,39	24,04	8,97	51,69	30,77	11,48	19,29
Ad	70	1,39	34,21	22,53	8,71	33,28	21,92	8,47	13,45
Bw1	150	1,35	35,34	23	9,11	73,59	46,58	18,44	28,14
Bw2	210	1,47	30,29	16,47	6,09	93,51	50,84	18,81	32,03
BC	70	1,44	31,71	21,5	8,57	31,96	21,67	8,64	13,03
	600					284,03	171,78	65,84	105,94

H (horizontes), Z (espesor de la capa), ρ_s (densidad aparente), Ws (porcentaje de agua a saturación), Wc (porcentaje de agua a capacidad de campo, -30 kPa), Wm (porcentaje de agua a marchitez permanente -1500 kPa), dWs (lámina de agua a saturación), dWc (lámina de agua a capacidad de campo), dWm (lámina de agua a marchitez permanente), dWu (lámina de agua útil).

El riego se realizó con una máquina autopropulsada de avance lateral, la cual consta de tres torres separadas 43,8 m cada una. El agua llega a la máquina por una tubería enterrada y por medio de hidrantes se conecta al equipo a través de una tubería flexible. Los difusores se encuentran espaciados a intervalos de 3 m con tubería de bajada variable según el desarrollo del cultivo. El coeficiente de uniformidad de Christiansen fue de 87 % (12). El agua que se utilizó para el riego es subterránea y de buena calidad (0,334 dS.m⁻¹).

El rendimiento en grano del cultivo se obtuvo cosechando manualmente, en el estadio de madurez fisiológica, una superficie de 10 m². La trilla se realizó con una trilladora estacionaria. El peso de los granos fue ajustado a humedad de comercialización (14 %). La humedad al momento de la cosecha se determinó con un higrómetro electrónico, marca Delver.

Los componentes del rendimiento cuantificados fueron: número de hileras por espiga, número de granos por hilera, mediante la extracción de 5 espigas al azar de las recogidas para producción de grano, y el peso de los 1000 granos, a partir de una muestra de 500 granos contados manualmente.

Los datos fueron analizados mediante ANOVA y para determinar diferencias entre medias se utilizó el Test de Tukey.

También se determinó la eficiencia de uso del agua (EUA) para rendimiento de grano, utilizando la ecuación sugerida por Tanner and Sinclair (1983) (11):

$$EUA = \frac{Y}{ET}$$

donde:

EUA: Eficiencia de uso del agua para rendimiento de grano (kg.m⁻³).

Y: Rendimiento en grano del cultivo (gr.m⁻²).

ET: Evapotranspiración (mm), obtenida desde el balance de agua.

Se evaluó también, por medio de una regresión, la relación uso de agua-rendimiento. El valor del Factor de Respuesta al rendimiento (ky) fue determinado usando el modelo de Stewart (24):

$$\left(1 - \frac{Ya}{Ym}\right) = ky \left(1 - \frac{ETa}{ETm}\right)$$

donde:

Ya: Rendimiento actual cosechado (obtenido como el promedio de todos los tratamientos) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Ym: Rendimiento máximo cosechado (obtenido desde el tratamiento 1, regado en todo el ciclo) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Ky: Factor de respuesta de rendimiento.

ETa: Evapotranspiración actual (promedio de la evapotranspiración real de todos los tratamientos, obtenida desde el balance de agua) (mm).

ETm: Evapotranspiración máxima (obtenida desde el balance de agua) (mm).

RESULTADOS

En la tabla 2 se observa que el rendimiento de grano en el tratamiento 1, mantenido muy cerca de capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo, fue 78 % mayor que el tratamiento 5, sin riego. En los tratamientos 2 y 3, el rendimiento fue mayor con respecto al tratamiento 5, en 71 y 77 %, respectivamente. En el T4 el aumento, comparado con el tratamiento sin riego, fue de 63 %, menor que los otros tratamientos regados. Sin embargo, entre todos los tratamientos regados no hubo diferencia estadística significativa. Esto puede deberse a que todos tuvieron buena provisión de agua en floración (período crítico), etapa en la que se define el rendimiento.

Tabla 2. Rendimiento promedio de grano (RPG), número de granos por m^2 (NG) y peso promedio de 1000 granos (PP) para los diferentes tratamientos.

Trat	RPG ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	CV	NG	CV	PP (g)	CV
1	16158 a	5,7	4368 a	5,6	393 a	6,6
2	15501 a	3,2	4196 a	3,3	384 a	3,9
3	16025 a	1,4	4284 a	5,8	388 a	3,5
4	14757 a	10,6	4116 a	4,1	367 a	6,9
5	9054 b	12,6	3256 b	13,9	268 b	8,4
DMS	2151,37		598,7		46,17	
Error	970785,3		75182,9		447,2	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

CV: Coeficiente de variación.

DMS: Diferencia mínima significativa.

El número de granos por m^2 está en función del número de granos por espiga (número de hileras por espiga multiplicado por el número de granos por hilera) y del número de espigas por m^2 . En este ensayo, el número de plantas al momento de la cosecha fue de 8 plantas/ m^2 para todos los tratamientos, obteniéndose una espiga por planta.

El peso medio de los granos depende de la duración del período efectivo de llenado desde fecundación hasta la formación de la capa de abscisión en la base del

grano (capa negra) y de la tasa de llenado. Éste se redujo significativamente cuando el cultivo se desarrolló solamente con el aporte de agua de las lluvias. El peso de 1000 granos en el testigo fue 30 % menor (115 g) que el promedio de los tratamientos regados que fue de 383 g (sin diferencia significativa entre ellos). Esto coincide con lo observado en el campo donde en el tratamiento sin riego se produjo una mayor senescencia foliar, disminuyeron los órganos fotosintéticamente activos, por lo tanto hubo menor disponibilidad de asimilados por grano.

El análisis de varianza para las variables estudiadas (rendimiento de grano, número de granos por m² y peso de 1000 granos) resultó significativo a un nivel del 5 %. En el análisis de comparación de medias se aprecia que los tratamientos con riego no presentan diferencia significativa entre sí (1, 2, 3 y 4) mientras que el tratamiento 5, testigo sin riego, sí es estadísticamente diferente del resto de los tratamientos. Se realizó la prueba de Levene, resultando no significativa, o sea, que se estaría cumpliendo con el supuesto de homogeneidad de varianza.

La tabla 3 presenta el número de riegos, el agua aplicada y la evapotranspiración calculada con el balance hídrico en cada tratamiento. La lluvia total fue de 314 mm y la lluvia efectiva fue de 286,2 mm. Se puede observar que los tratamientos con riego tuvieron mayor evapotranspiración, en concordancia con una mayor producción.

Tabla 3. Número de riegos, agua aplicada, evapotranspiración y eficiencia de uso de agua para los cinco tratamientos.

Tratamiento	Número de riegos	Agua total aplicada (mm)	ETc según balance (mm)	Producción grano (kg.ha ⁻¹)	Eficiencia de uso de agua (kg.m ⁻³)
T1	12	360	587	16158	2,7 a
T2	12	360	577	15501	2,7 a
T3	11	330	571	16024	2,8 a
T4	10	300	559	14757	2,6 a
T5	Sin riego	0	308	9054	2,9 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

La eficiencia de uso del agua (EUA) no mostró diferencia estadística significativa entre los tratamientos, obteniéndose un valor promedio para este híbrido y en Río Cuarto de 2,7 kg.m⁻³ de agua consumida.

La evolución del contenido hídrico del suelo determinado por los balances en el tratamiento 1 (regado en todo el ciclo) y el tratamiento 5 (sin riego) se muestra en la figura 1 a y b, respectivamente (pág. 32).

En la figura 2 (pág. 32), se puede observar la relación entre rendimiento en grano y evapotranspiración del cultivo, obtenida del balance hídrico. Por cada mm de aumento en la evapotranspiración, aumenta el rendimiento promedio en 25 kg.ha⁻¹. Esta ecuación es válida con valores de evapotranspiración entre 300 y 600 mm en el ciclo.

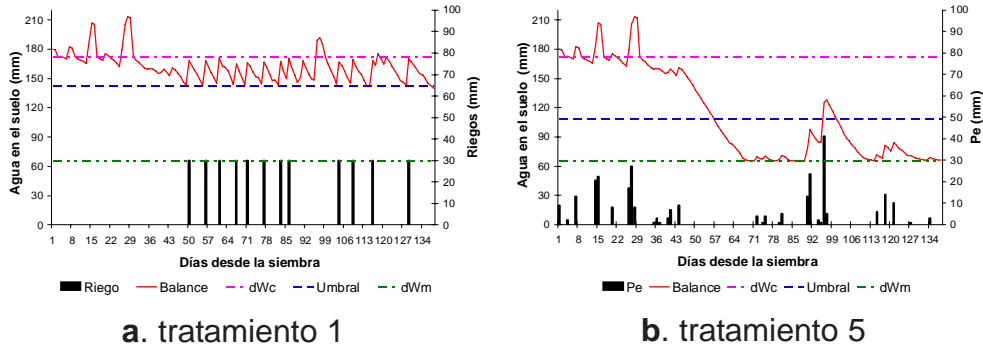


Figura 1. Evolución del contenido hídrico en el suelo.

dWc: lámina total a capacidad de campo.
 dWm: lámina total a marchitez permanente.
 Pe: Precipitación efectiva.

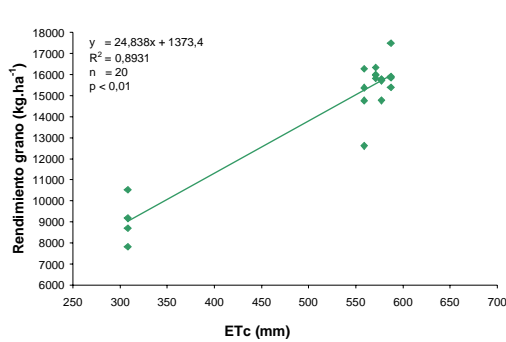


Figura 2. Relación entre rendimiento de grano y evapotranspiración del cultivo (ETc).

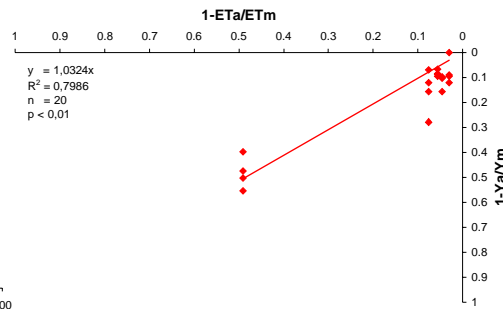


Figura 3. Relación entre el déficit de evapotranspiración relativo (1-ETa/ETm) y el decrecimiento relativo de rendimiento (1-Ya/Ym).

La respuesta del rendimiento al suplemento de agua fue cuantificada a través del factor de respuesta de rendimiento (k_y), que relaciona el decrecimiento relativo de rendimiento con el déficit relativo de evapotranspiración. La pendiente de la curva de regresión (figura 3) representa k_y , cuyo valor es $k_y = 1,03$, para un R^2 de 0,80.

Cabe aclarar que la línea de tendencia fue forzada a pasar por el punto (0,0), fundamentándose en que bajo un déficit nulo de evapotranspiración, la pérdida de rendimiento también es nula.

DISCUSIÓN

El estudio realizado en el Departamento de Río Cuarto por Degioanni (5) demostró que la producción teórica del cultivo de maíz, que sería posible alcanzar sin limitaciones de agua, nutrientes, sin daño por plagas y enfermedades y con el 100 % de

eficiencia en la recolección del producto cosechado, sería de 18270 kg.ha⁻¹. La producción del tratamiento 1 obtenida en este trabajo, sin limitaciones de agua logró un valor de 16158 kg.ha⁻¹ promedio, pero una de las repeticiones alcanzó 17487 kg.ha⁻¹, muy cerca al potencial planteado por Degioanni (5).

Rendimientos similares se obtuvieron en Manfredi (Provincia de Córdoba) (21), de 14500 kg.ha⁻¹ en cultivos bajo riego y entre 8000 y 10000 kg.ha⁻¹ en seco, 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 seco pero con un promedio de 550 mm de precipitación (28).

El número de granos por unidad de superficie queda determinado durante el período cercano a floración (15 días antes y hasta 15-20 días posteriores a la floración), 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 (2). Pandey et al. (20) 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. En este ensayo la disminución fue de 21 a 25 % del número de granos del T5, no regado, respecto de los regados. A su vez, Otegui et al. (19) encontraron que disminuía el número de granos.m⁻² cuando disminuía el agua disponible para evapotranspiración, coincidiendo con los resultados de este trabajo.

En cuanto al peso de 1000 granos, los resultados obtenidos concuerdan con la experiencia de Pandey et al. (20) quienes también 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. Andrade et al. (2) obtuvieron resultados similares.

Los componentes del rendimiento (número de granos por m² y peso de 1000 granos) fueron significativamente afectados ($p < 0,01$) por déficit de agua en el perfil del suelo, según lo expresa Çakir (3), coincidiendo también con los resultados del presente ensayo.

En lo que respecta al balance hídrico, datos similares fueron encontrados en Balcarce por Otegui (18), quien utilizando una serie histórica de 20 campañas agrícolas calculó un valor promedio de 542 mm (± 50 mm). Andrade y Gardiol (1) obtuvieron en Balcarce un consumo de 530 mm en un ciclo de 140 días de cultivo y en Pergamino, Totis de Zeljkovich y Rebella (26) obtuvieron una evapotranspiración de 575 mm sobre la base de 42 años de datos para maíces sembrados en octubre. El agua consumida por el cultivo regado (según balance hídrico) está dentro de los rangos mencionados: entre 530 y 580 mm en el ciclo (2, 14, 16, 20).

La eficiencia de uso de agua (EUA) alcanzó valores comprendidos entre 2,6 y 2,9 kg.m⁻³, sin observar diferencias significativas entre los tratamientos, aunque el valor más alto correspondió al tratamiento sin riego. Analizando este indicador, otros

autores han encontrado valores extremos que están entre $0,5 \text{ kg.m}^{-3}$ (20) y $2,7 \text{ kg.m}^{-3}$ (14), aunque la mayoría de los datos están comprendidos entre 1,2 y 2 kg.m^{-3} . Valores próximos a los de este ensayo son mencionados por Vallone et al. (27) en Marcos Juárez con niveles productivos comprendidos entre 10900 y 16000 kg.ha^{-1} de grano. Tolk et al. (25) dan resultados de EUA comprendidos entre 1,2 y $1,5 \text{ kg.m}^{-3}$ en su ensayo realizado en Bushland (Texas), siendo los valores mayores para los tratamientos con déficit de agua. Karam et al. (15) presenta valores de EUA entre 1,5 y $1,9 \text{ kg.m}^{-3}$: igualmente estos valores son mayores en los ensayos con riego deficitario.

El valor estandarizado de k_y para maíz es de 1,25 y fue dado por Doorenbos y Kassan (7). Sin embargo, Çakir (3) indica que el valor de k_y varía de acuerdo con el lugar de cultivo e incluso en una misma localidad varía de año en año. Asimismo, da valores de k_y de 1,36 para un año con severa sequía y un valor mucho más bajo ($k_y = 0,81$) cuando la precipitación total estacional excedió los 200 mm. En este ensayo k_y alcanzó un valor de 1,03, inferior al estandarizado de Doorenbos y Kassan (7).

CONCLUSIONES

- ❖ El rendimiento de grano del cultivo de maíz híbrido NIDERA (AX 884) y sus componentes (número de granos por m^2 y peso de 1000 granos), en la zona de Río Cuarto, presentan respuesta significativamente positiva a la práctica del riego.
- ❖ Entre los distintos tratamientos regados no se observan diferencias significativas en el rendimiento de grano y en sus componentes, probablemente porque no se produjo déficit de agua en el período crítico (15 días prefloración y hasta 15 días post floración).
- ❖ El consumo promedio de agua para todo el ciclo del cultivo de maíz, según el balance hídrico, estuvo en el orden de los 575 mm para la región de Río Cuarto, correspondiendo 227 mm al período crítico.
- ❖ La aplicación de una lámina total de 330 mm generó un aumento en la producción de grano del 72 %.
- ❖ Para el híbrido NIDERA AX 884 y para Río Cuarto un incremento de evapotranspiración de 1 mm genera un aumento de producción en grano de aproximadamente 25 kg.ha^{-1} .
- ❖ La eficiencia de uso del agua, para esta variedad y en Río Cuarto, es de $2,7 \text{ kg.m}^{-3}$ de agua consumida para producir grano.
- ❖ Una adecuada programación del riego, en la cual se tengan en cuenta las necesidades del cultivo en el período crítico, permitiría obtener rendimientos próximos al potencial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade, F. H. y Gardiol, J. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico 132. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce. Buenos Aires. 23 p.
2. Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S. y Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Ed. La Barrosa. Balcarce. Buenos Aires. 292 p.
3. Çakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89(1): 1-16.
4. Dardanelli, J. 1994. Perspectivas del riego suplementario en la región semiárida de Córdoba. Seminario Nacional "Situación actual y perspectivas de las áreas regadas en Argentina". INCYTH - Gobierno de Tucumán - INTA Tucumán. Argentina. p. 217-224.
5. Degioanni, A. J. 1998. Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina). Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. España. 282 p.
6. Doorenbos, J. y Pruitt, W. O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje N° 24. Roma. 194 p.
7. Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. *FAO irrigation and drainage. Paper N° 33.* p. 101-104.
8. FAO. 2004. Base de datos estadísticos. (<http://faostat.fao.org/faostat/>, 30/04/04).
9. Farré, I.; van Oijem, M.; Leffelaar, P. A. and Faci, J. M. 2000. Analysis of Maize growth for different irrigation strategies in northeastern Spain. *European Journal of Agronomy*. 12:225-238.
10. Grassi, C. J. 1998. Fundamentos del riego. Serie Riego y Drenaje RD-38. CIDIAT. Venezuela. 409 p.
11. Hatfield, J. L.; Sauer, T. J. and Prueger, J. H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. A Review. *Agronomy Journal* 93:271-280.
12. ISO-11545. 1994. Agricultural Irrigation Equipment -Centre-pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles - Determination of uniformity of water distribution. International Organization for Standardization. Switzerland. Reference number ISO 11545:1994(E).
13. Jensen, M. E.; Wright, J. L. and Pratt, B. J. 1971. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transactions of the ASAE* 14(5):954-959.
14. Kang, S.; Shi, W. and Zhang, J. 2000. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research* 67: 207-214.
15. Karam, F.; Breidy, J.; Stephan, C. and Rouphael, J. 2003. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekae Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management*. 63:125-137.
16. Martellotto, E.; Salas, P.; Lovera, E.; Salinas, A. y Manzini, P. 1999. Módulo de capacitación, experimentación y transferencia de tecnología en riego suplementario. Proyecto de intensificación de granos. INTA Manfredi. Manfredi. Córdoba. p. 4-13.
17. Nicosia, M.G. y Martin, G.O. (h). 1998. Producción de maíz (Parte III). Algunos aspectos relevantes. *Cát. Forrajes y Cereales. Fac. de Agronomía y Zootecnia. UNT: Tucumán.* (http://www.tucuman.com/producción/1998/98oct_09.htm, 13/01/00)
18. 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 p.
19. Otegui, M. E.; Andrade, F. H. and Suero, E. E. 1995. Growth, water use, and kernel absorption of maize subjected to drought at silking. *Field Crop Research*. 40:87-94.
20. Pandey, R. K.; Maranville, J. W. and Chetima, M. M. 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.

21. Piatti, F. D. 2002. Ensayos comparativos de rendimientos. Híbridos de maíz. Estación Experimental Manfredi. INTA. Manfredi. Córdoba. (<http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/documentos/docprodveg/> , 15/05/04).
22. Puiatti, J. M. P.; Crespi, R. J.; Rivetti, A. R. 2002. Riego con equipos presurizados. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. 34(2): 27-33.
23. Rivetti, A.; Puiatti, J. M. P.; Morábito, J. A. y Garello, A. N. 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.
24. Stewart, J. I.; Cuenca, R. H.; Pruitt, W. O.; Hagan, R. M. and Tosso, J. 1977. Determination and utilization of water production functions for principal California crops. W-67. California Contribution Project. University of California.
25. Tolk, J. A., Howell, T. A. and Evett, S. R. 1998. Evapotranspiration and yield of corn grown on three high Plains soils. *Agronomy Journal*. 90:447-454.
26. Totis de Zeljkovich, L. C. and Rebella, C. M. 1980. Necesidades de agua de un cultivo de maíz en la región de Pergamino. AIANBA (ed.). Actas del II Congreso Nacional de Maíz. p. 211-219.
27. Vallone, P.; Gudelj, V.; Galarza, C. y Masiero, B. 2003. Potencial de rendimiento en maíz sin restricciones hídricas ni nutricionales. Campaña 2002/2003. Estación Experimental Marcos Juárez. INTA Marcos Juárez. Córdoba. Argentina. (<http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/maiz/potrend03/> , 19/05/04).
28. Weilenmann de Tau, M. E.; Suárez, W.; Ferreiro, M. y Piersanti, M. 2002. Evaluación de híbridos de maíz. Ensayos comparativos de rendimiento. Estación Experimental Balcarce. INTA. Balcarce. Buenos Aires. (<http://www.intabalcarce.org/trabinve/ProdCultivos/maiz2001.htm> , 17/05/04).