

Rendimiento de grano y eficiencia en el uso del agua en maíz bajo riego complementario con agua salina

SAENZ, C.A.¹; GÓMEZ HERMIDA, V.F.²; FRIGERIO, K.L.¹; MORÁBITO, J.A.³; TERENTI, O.A.¹; CORTÉS, M.P.¹

RESUMEN

En San Luis, Argentina, el cultivo de maíz es relevante con un rendimiento medio de grano de 1.600 kg ha⁻¹ inferior al potencial con riego complementario (14.000 kg ha⁻¹). No siempre se dispone de agua de calidad para riego pero en la región semiárida con suelos permeables se podrían estabilizar los rendimientos con riego complementario con agua salina. El objetivo del trabajo fue determinar el rendimiento en grano y la eficiencia en el uso del agua del cultivo de maíz con distintos niveles de riego con agua salina y fertilización con nitrógeno y fósforo. Durante las campañas agrícolas 2005-06 y 2006-07 se evaluó el rendimiento de maíz con tres niveles de riego, 100% y 50% del requerimiento hídrico y seco; y nueve niveles de fertilización combinando nitrógeno y fósforo. Se regó por aspersión con agua salina con una conductividad de 4,26 dS m⁻¹. El diseño estadístico fue anidado. Las dosis de riego fueron determinadas con datos meteorológicos históricos corregidas quincenalmente a través del contenido hídrico del suelo. El rendimiento se determinó mediante la cosecha de dos metros lineales del surco central de cada parcela, calculándose la producción de grano y la eficiencia de uso del agua. Durante el primer año con precipitaciones menores a la media la producción de los tratamientos de riego fue superior al de seco, mientras que en el segundo año con precipitaciones superiores a la media se observaron mayores rendimientos en tratamientos con 50% de riego. No se encontró respuesta a la fertilización nitrogenada ni fosforada en cuanto a rendimiento y EUA durante la primera campaña, aunque se logró estabilizar los rendimientos regando con agua salina. Durante el segundo año los mayores rendimientos se lograron con niveles de fertilización y riego medios, y los tratamientos de seco también lograron un buen desempeño.

Palabras clave: irrigación, rendimiento, salinidad.

ABSTRACT

In San Luis Province, Argentina, maize is annually cultivated, with an average grain yield of 1,600 kg ha⁻¹, by far below of the potential yield with complementary irrigation (15,000 kg ha⁻¹). Quality water is not always available for irrigation. However, in semiarid region with permeable soils it is possible to reach stabilize maize yields by using supplementary irrigation with saline water. This work evaluated the yield and water use efficiency of maize crop cultivation under different irrigation levels with saline water and fertilization with nitrogen

¹Estación Experimental San Luis, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Rutas Nac. N.º 7 y 8, Villa Mercedes (S.L).

Correo electrónico: saenz.claudio@inta.gob.ar

²IPAF Pampeano.

³UNCU, INA.

and phosphorus. During two growing seasons (2005-2007) evaluated maize yield with three irrigation levels: 100% and 50% of water crop requirements, and unirrigated land; and nine fertilization treatments which the combination of different levels of nitrogen and phosphorus. The crop was sprinkler irrigated with saline water, conductivity was 4.26 dS m^{-1} . The statistic design for fertilization treatment was nested. Irrigation levels were determined on the basis of the historical data, and corrected biweekly by considering the soil water content. Grain yield was measured along two central lineal meters by plot and water use efficiency (WUE) was also measured. During the first year of the study the precipitation was below average, the crop yield were statistically ($\alpha = 0.05$) higher under irrigation than on the un-irrigated treatment. In the second year the precipitation was higher average, crop yield in treatments with 50% of irrigation was significantly higher than in the other ones. This year don't found response to nitrogen and phosphorus fertilization about crop yield and water use efficiency, but saline water irrigation allowed stabilized yields. In second year the higher yields were achieved with average irrigation and fertilization levels, the anirrigated treatment also achieved good performance.

Keywords: irrigation, yield, salinity.

INTRODUCCIÓN

La región semiárida pampeana, comprendida entre las isoyetas de 500 y 700 mm año⁻¹ se caracteriza por ser una zona mixta de agricultura extensiva con cultivos estivales en secano (Orta, 2006). La agricultura se encuentra en expansión debido a que las precipitaciones se incrementaron a razón de 1,77 mm año⁻¹ (Echeverría y Kall, 1990).

En San Luis es tradicional el cultivo de maíz en secano, con un rendimiento de grano bajo y variable entre años: $1.609 \pm 690 \text{ kg ha}^{-1}$ (Veneciano y Frigerio, 2002). Esto se explica por la escasa oferta de nutrientes del suelo y la limitada disponibilidad hídrica (Veneciano *et al.*, 2005).

El rendimiento de maíz en secano es inferior a los $14.000 \text{ kg ha}^{-1}$ que se puede lograr bajo riego complementario (Garay y Colombino, 2002). En Río Cuarto se han reportado rendimientos bajo riego de 7.252 kg ha^{-1} (Puiatti, 1985) y $16.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (Rivetti, 2005).

La eficiencia en el uso del agua para producción de grano varía con las características edafoclimáticas, estimándose en 12 kg mm^{-1} (Doorenbos y Kassam, 1979); aunque se han obtenido valores de $10,84 \text{ kg mm}^{-1}$ (Puiatti *et al.*, 1985), 27 y 29 kg mm^{-1} (Rivetti, 2005); y $12,38$, $17,66$ y $12,36 \text{ kg mm}^{-1}$ para las campañas 96/97, 97/98 y 98/99, respectivamente (Martellotto *et al.* 1999).

Si bien la calidad de agua es fundamental en un proyecto de riego, en nuestra región no siempre se dispone de agua subterránea de buena calidad, por lo que es importante evaluar el riego complementario con agua salina, tratando de estabilizar los rendimientos.

El riego continuo con agua de baja calidad y manejo inadecuado puede provocar un deterioro en la calidad de los suelos (Prieto y Angueira, 1996). Los principales factores de deterioro son la salinización del suelo que produce un incremento del potencial osmótico en la rizosfera, y la sodificación que reduce la velocidad de infiltración del agua

y un incremento del pH, lo que reduce la disponibilidad de nutrientes y se refleja en una reducción del rendimiento potencial y de la eficiencia en el uso del agua. Es conocida la incidencia de la calidad del agua en zonas áridas, pero en zonas húmedas o subhúmedas con riego complementario, estos efectos son de distinta naturaleza, intensidad, ocurrencia y duración (Génova, 1993).

En la evaluación de agua de riego se pone énfasis en las características químicas, conductividad eléctrica del agua y concentración de aniones y cationes presentes, aunque su efecto también dependerá del suelo, cultivos y condiciones climáticas (Bresler *et al.*, 1982). El rendimiento de un mismo cultivo es diferente en función del ambiente y el manejo, así como condiciones económicas y disponibilidad de agua relativizan una clasificación del agua (Prieto y Angueira, 1996).

Hay escasez de antecedentes en este tema en la región semiárida pampeana, que presenta suelos arenosos, permeables, con una capacidad de intercambio catiónico reducida, y con un aporte de 500 a 700 mm año⁻¹ de agua de lluvia.

El objetivo del trabajo fue determinar el rendimiento en grano y la eficiencia en el uso del agua del cultivo de maíz con distintos niveles de riego con agua salina y fertilización con nitrógeno y fósforo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo de rendimiento de maíz bajo riego durante dos campañas agrícolas, 2005-06 y 2006-07, en INTA San Luis ($33^{\circ} 39' 14'' \text{ S}$; $65^{\circ} 24' 58'' \text{ O}$). En esta área la fluctuación de la freática es de 0,6 a 2 m de profundidad (Peña Zubiato *et al.*, 2000). El presente estudio se realizó sobre un suelo perteneciente a la serie Villa Reynolds, caracterizado como homogéneo, de perfil poco desarrollado formado por arenas loésicas, presentando carbonatos a

partir de 30 cm de profundidad, moderadamente salinos a partir de los 50 cm. Los suelos de esta serie fueron clasificados como haplustoles ácuicos (Peña Zubiarte *et al.*, 2000) La infiltración básica fue de 78,93 mm h⁻¹ y la capacidad de almacenaje de agua útil fue de 113 mm m⁻¹.

El agua de riego presentó una Conductividad Eléctrica (CE) de 4,26 dS m⁻¹ y se caracterizó como sulfatada sódica con una restricción de uso severa en cuanto a salinidad y Relación de Absorción de Sodio (RAS), de acuerdo a las directrices de interpretación de calidad de aguas para riego de Ayers y Wescot (1987). El valor de carbonato de sodio residual fue de 1,08, por lo que el agua fue clasificada como "buena" de acuerdo a Wilcox, 1954, siendo escasas las posibilidades de precipitación de carbonatos de calcio y magnesio.

La caracterización climática de la zona se presenta en tabla 1. La evapotranspiración potencial (Eto) mensual se determinó utilizando el método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Las variables de respuesta medidas fueron rendimiento de grano (kg ha⁻¹) y Eficiencia en el Uso de Agua (EUA) (kg mm⁻¹). El rendimiento de grano de cada parcela se determinó mediante la cosecha de dos metros lineales del surco central, eliminando así el efecto bordura y corregido a 13% de humedad. La eficiencia en el uso del agua se calculó como el cociente entre rendimiento en granos y el agua total (precipitaciones y riego) evapotranspirada por el cultivo. La superficie del ensayo fue de 1,30 ha, donde se instaló un sistema de riego por aspersión fijo alimentado con agua subterránea. Los aspersores se ubicaron a 2 m de altura.

El ensayo sufrió variaciones experimentales entre ambas campañas con respecto a los materiales de maíz y a las fuente de fósforo utilizada como fertilizante, por lo que se presenta detallado por separado el diseño experimental utilizado en cada campaña.

El nivel freático se encontró a más de 2 m de profundidad durante los dos periodos de ensayo por lo que el aporte de agua y nutrientes desde la freática no se consideró significativo de acuerdo a Noretto *et al.* 2009.

La lámina de riego a aplicar en cada tratamiento se determinó quincenalmente utilizando la siguiente ecuación:

$$Dr = (Evp * Kc - Pp + (Wc - Wa)) * (1 + RI)$$

Dr = Dosis de riego.

Evp = Evapotranspiración potencial de acuerdo a Penman y Moreith basado en datos históricos locales (Veneciano *et al.*, 2000) (tabla 1).

Kc = Coeficiente de cultivo de acuerdo a Doorenbos y Kassam (FAO, 1979)

Pp = Precipitación.

Wc = Agua almacenable en el perfil en capacidad de campo de acuerdo a la curva de retención hídrica del suelo para 20 kPa.

Wa = Contenido hídrico del suelo.

RI = Fracción de lavado (Ayers y Westcott, 1976).

La lámina calculada se aplicó semanalmente durante todo el ciclo del cultivo.

Ensayo campaña 2005-06

El ensayo constó de dos parcelas primarias (PPHM) donde se sembraron dos híbridos de maíz resistentes a herbicidas de amplio espectro:

1. Roundup Ready, resistentes al glifosato (G82RR2 DK).
2. Clearfield, resistente a imidazolinonas (AX884IT).

El efecto riego se asignó a las parcelas secundarias que se dispusieron en forma transversal a las parcelas primarias. Los niveles para riego fueron tres, i) recibió la totalidad del requerimiento hídrico del cultivo durante todo el ciclo (100%), ii) recibió la mitad del requerimiento total (50%); e iii) testigo, en seco.

Cada combinación de tratamiento de riego e híbrido tuvo dos aspersores que regaron con una intensidad de 3,6 mm h⁻¹ y con un coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) de 88%.

El contenido hídrico del suelo (Wa), se determinó quincenalmente mediante gravimetría en los intervalos de profundidad: 0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,80 m y 0,80-1,20 m. Para ello se muestrearon y promediaron tres repeticiones por cada híbrido y nivel de riego, tomando cada una de ellas en parcelas correspondientes a los tratamientos de fertilización T1, T5 y T9 cuyas características se detallan en tabla 3. En base a estas determinaciones se aplicaron las dosis de riego (tabla 2).

El tercer efecto a evaluar (tipo de fertilización) se dispuso en el área de cada aspersor, constituyendo las parcelas terciarias (PTF). Los tipos de fertilización fueron nueve, utilizando diferentes combinaciones de dosis de nitrógeno como urea (46% de N), y fósforo como fosfato diamónico (20% P) con tres repeticiones distribuidas al azar (tabla 3). El testigo sin fertilizantes fue T1 y T9 fue el tratamiento para alcanzar

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Precip., mm	98	107	77	69	22	6	10	12	30	36	110	128	705
Eto, mm	218	173	145	98	65	54	45	93	134	170	197	228	1.620
Déf. híd., mm	120	66	68	29	43	48	35	81	104	134	87	100	915

Tabla 1. Caracterización climática de Villa Mercedes, valores medios mensuales, de acuerdo a Veneciano *et al.*, 2000.

Mes	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
Precipitaciones (mm)	106	45	92	63	45	10	361
Lamina aplicada (mm) para 100% de requerimiento		27	144	195	95		461
Lamina aplicada (mm) para 50% de requerimiento		14	70	98	49		231

Tabla 2. Precipitaciones y lámina de riego aplicada durante el ciclo de cultivo de la campaña 2005-06.

Dosis de fertilizante	N	P	Urea	Fosfato diamónico
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
T ₁	0	0	0	0
T ₂	100	0	217	0
T ₃	150	0	326	0
T ₄	20	22	0	109
T ₅	100	22	174	109
T ₆	150	22	283	109
T ₇	31	35	0	174
T ₈	100	35	150	174
T ₉	150	35	259	174

Tabla 3. Dosis de fertilizante utilizados en las parcelas terciarias durante la campaña 2005-06.

Mes	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
Precipitaciones (mm)	96	130	159	113	154	30	682
Lamina aplicada (mm) para 100% de requerimiento		44	48	24	68		184
Lamina aplicada (mm) para 50% de requerimiento		22	24	12	34		92

Tabla 4. Precipitaciones y lámina de riego aplicada durante el ciclo de cultivo de la campaña 2006/07.

el rendimiento potencial esperado de 15.000 kg ha⁻¹ de grano sin limitantes hídricas ni salinas. Los tratamientos restantes fueron intermedios en cuanto a la aplicación de dosis de N y P. Las dimensiones de cada Unidad Experimental (UE) fueron de 3,50 m x 4,30 m de longitud, constituidas por 5 surcos.

El fosfato diamónico se aplicó enterrándolo en la línea de siembra en preemergencia. En los tratamientos con nitrógeno la dosis total de urea se dividió en dos partes iguales y se aplicó en la zona central del entresurco previo a un riego, la primera dosis en postemergencia y la segunda en ocho hojas (V8). En las parcelas en que se había aplicado fosfato diamónico se descontó el aporte de nitrógeno a la dosis de urea.

La combinación de los niveles de los efectos a evaluar (UE) se dispusieron en un arreglo anidado con tres repeticiones. El análisis estadístico se efectuó con SAS V 8.2,

con metodología para modelos mixtos. Los rendimientos promedio para los efectos incluidos se compararon con el Test de Tukey-Kramer, con un $\alpha = 0,05$.

Ensayo campaña 2006-07

Durante esta campaña, por razones operativas, no se pudo continuar evaluando los dos híbridos por lo que se decidió continuar solo con el híbrido Roundup Ready. Por lo tanto, los niveles de riego se dispusieron en la parcela primaria (PPR) con dos repeticiones, correspondientes a dos niveles de riego y un testigo en secano, esto se dispuso al igual que el año anterior pero se modificó el sistema de riego. En dos de estas franjas se armaron sendos sistemas de riego por aspersión fija. Al igual que en la campaña 2005-06 a un sector se le aplicó semanalmente el 100% del requerimiento de riego y al segundo el 50%

Dosis de fertilizante	N	P	Urea	Superfosfato triple de calcio
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
T ₁	0	0	0	0
T ₂	100	0	217	0
T ₃	150	0	326	0
T ₄	0	22	0	110
T ₅	100	22	217	110
T ₆	150	22	326	110
T ₇	0	35	0	174
T ₈	100	35	217	174
T ₉	150	35	326	174

Tabla 5. Dosis de fertilizante utilizados en las parcelas terciarias durante la campaña 2006-07.

durante todo el ciclo del cultivo. Cada sistema de riego constó de seis aspersores dispuestos en marco cuadrangular a 12 x 12 m. La intensidad del riego fue de 4,8 mm h⁻¹ el CU de 85%.

El contenido hídrico del suelo y la lámina a aplicar en cada caso se determinaron con la misma metodología que en la campaña anterior.

Las dosis de riego aplicadas se detallan en tabla 4. Durante esta campaña las precipitaciones entre noviembre y abril fueron de 682 mm respecto de los 361 mm de la campaña anterior para el mismo periodo. Esto determinó diferencias en las necesidades de riego entre campañas.

Dentro de cada PPR se instalaron las parcelas secundarias (PSF) con nueve niveles de fertilización con tres repeticiones distribuidas al azar. Los niveles de dosis de fertilizantes se detallan en tabla 5. Las dimensiones de cada UE fueron similares a la campaña anterior.

La fuente de fósforo fue superfosfato triple de calcio para evitar aportes de nitrógeno en las aplicaciones sin urea. La

metodología de aplicación de los fertilizantes fue similar a la campaña anterior.

Las variables de respuesta fueron las mismas que la de la campaña anterior, determinándose del mismo modo.

El diseño del ensayo se realizó con un arreglo en parcelas divididas en dos bloques completamente aleatorizados, dentro de cada uno se dispusieron los niveles de riego en parcela principal y los niveles de fertilización en la parcela secundaria.

Para el análisis estadístico (SAS V 8.2) se empleó la metodología para los modelos mixtos. Los rendimientos se compararon con el Test de Tukey-Kramer, un $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la campaña 2005-06

Las precipitaciones en esta campaña de noviembre a abril (361 mm) estuvieron por debajo de la media histórica del mismo periodo (589 mm).

Efecto	GL(1)	GL(2)	F	Pr > F
Riego	2	101	58	<.0001 ***
Fertilizante	8	101	1	0.5341 ns
Riego*Fertilizante	16	101	1	1
Híbrido	1	101	53	<.0001 ***
Riego*Híbrido	2	101	6	0.0024 **
Híbrido*Fertilizante	8	101	2	0.1544 ns
Riego*Híbrido*Fertilizante	16	101	0	0.9815 ns

Tabla 6. Análisis de la varianza mostrando la evaluación de un modelo de efectos principales (híbrido, riego y fertilización) con sus respectivas interacciones dobles y triples.

(1) grados de libertad del numerador; (2)grados de libertad del denominador

**diferencias muy significativas estadísticamente ($p < 0.1$).

***diferencias altamente significativas estadísticamente ($p < 0.1$).

ns sin significancia estadística ($p < 0.1$)

Híbrido * Riego	Rendimiento, kg ha ⁻¹	Tukey-Kramer ($\alpha = 0,05$)	EUA, kg mm ⁻¹	Tukey-Kramer ($\alpha = 0,05$)
Roundup Ready * 100%	6.261 ± 1.879	A B	7,5 ± 2,28	B
Roundup Ready * 50%	6.466 ± 1.471	A	10,8 ± 2,47	A
Roundup Ready * Secano	2.600 ± 1.645	D	7,3 ± 4,56	B
Clearfield * 100%	4.707 ± 1.637	B C	5,8 ± 1,99	B C
Clearfield * 50%	3.227 ± 1.405	C D	5,4 ± 2,36	C
Clearfield * Secano	1.658 ± 1.209	D	4,4 ± 3,35	C

Tabla 7. Rendimiento de grano y Eficiencia en el Uso del Agua para rendimiento de grano (EUA), para cada híbrido en cada nivel de riego para la campaña 2005-06.

Tanto para la variable rendimiento en grano como para EUA en esta campaña, el modelo de análisis de la varianza estimó significancia estadística para los efectos principales (híbrido, riego y fertilizante) y las interacciones dobles y triple. La interacción híbrido y nivel de riego fue estadísticamente significativa, por lo tanto las respuestas en rendimiento en grano y en EUA (tabla 6 - ANOVA) se debieron a la combinación de ambos factores (híbrido y riego).

Las medias de rendimiento de grano y de EUA para cada híbrido en cada nivel de riego se presentan en tabla 7. A partir de comparación de medias, se observó que el híbrido Roundup Ready fue superior a Clearfield bajo riego, probablemente esto se deba a diferencias genéticas relacionadas a resistencia a la salinidad. Además, los tratamientos con riego se diferenciaron del testigo en seco.

Para el rendimiento en grano, la interacción riego y fertilización no fue significativa, por lo que no se pudo visualizar una tendencia que indique respuesta al riego ni a la aplicación de N o P. Esto difiere con otros estudios en los que el maíz regado con agua salina ha respondido a la fertilización química, hasta una dosis de 250 kg ha⁻¹ de N y 100 kg ha⁻¹ de P como P₂O₅, con un rendimiento máximo de 5.084 kg ha⁻¹ de grano (Ortiz Franco y Amado Álvarez, 2001). Sin embargo, distintos trabajos demostraron que la respuesta a la fertilidad en condiciones de salinidad es errática debido al efecto de la fertilidad sobre la resistencia a la salinidad, este efecto puede ser positivo o negativo (Feigin, 1985).

En cuanto a la EUA evapotranspirada se encontró que los valores máximos para cada híbrido y nivel de riego fueron de 10,8 kg mm⁻¹ y 5,8 kg mm⁻¹ para los tratamientos Roundup ready – riego 50% y Clearfield – 100% respectivamente.

El Híbrido Roundup Ready con 50% de riego fue superior ($p < 0.10$) al resto, siendo también este híbrido más eficiente que Clearfield en seco y 50%. Estos valores son inferiores a los registrados por otros autores sin condiciones de salinidad, 12 kg mm⁻¹ (Doorenbos y Kassam, 1979); 10,84 kg mm⁻¹ (Puiatti *et al.*, 1985) y 27 a 29 kg mm⁻¹ (Rivetti, 2005).

Resultados de la campaña 2006-07

En esta campaña las precipitaciones de noviembre a abril fueron de 682 mm, siendo la media de 589 mm. El único material evaluado durante este ciclo fue Roundup Ready. Para el modelo de análisis de la varianza, para establecer inferencia sobre los efectos contempló a los niveles de riego y fertilización y su interacción. Esta última resultó significativa, por lo que la respuesta en rendimiento y EUA estuvo determinada por la combinación de los niveles de riego y de fertilización (tabla 8).

Tanto para rendimiento en grano como para EUA se encontró que la interacción entre ellos fue significativa. En figuras 1 y 2 se presentan la comparación entre las medias de rendimiento en grano y EUA para esta campaña, respectivamente.

La eficiencia en el uso del agua (precipitación + riego) fue superior a la del año anterior, esto probablemente se deba a un menor aporte de agua de riego y sales al agua evapotranspirada por el cultivo. La interacción nivel de riego-fertilización fue significativa. Los tratamientos con el 100% de riego fueron menos eficientes (figura 2), mientras que los tratamientos de riego 50% no se diferenciaron del testigo en seco.

Efecto	GL(1)	GL(2)	F	Pr > F
Riego	2	765	18,6	<.0001***
Fertilizante	8	765	2,73	0.0056*
Riego*Fertilizante	16	765	3,59	<.0001***

Tabla 8. Análisis de la varianza mostrando la evaluación de un modelo de efectos principales (riego y fertilización) con su interacción.

(1) grados de libertad del numerador; (2)grados de libertad del denominador

*diferencias significativas estadísticamente ($p < 0.1$).

***diferencias altamente significativas estadísticamente ($p < 0.1$).

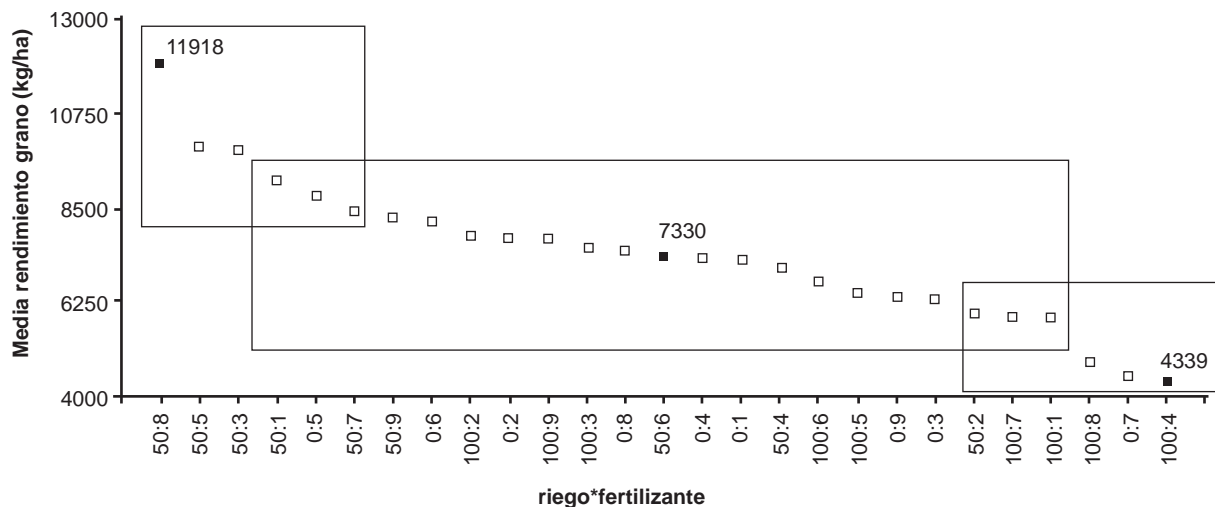


Figura 1. Rendimientos de maíz en la campaña 2006-2007. Entre recuadros, grupos de tratamientos de igual significancia para el rendimiento mayor, medio y menor para Tukey-Kramer $\alpha = 0,05$.

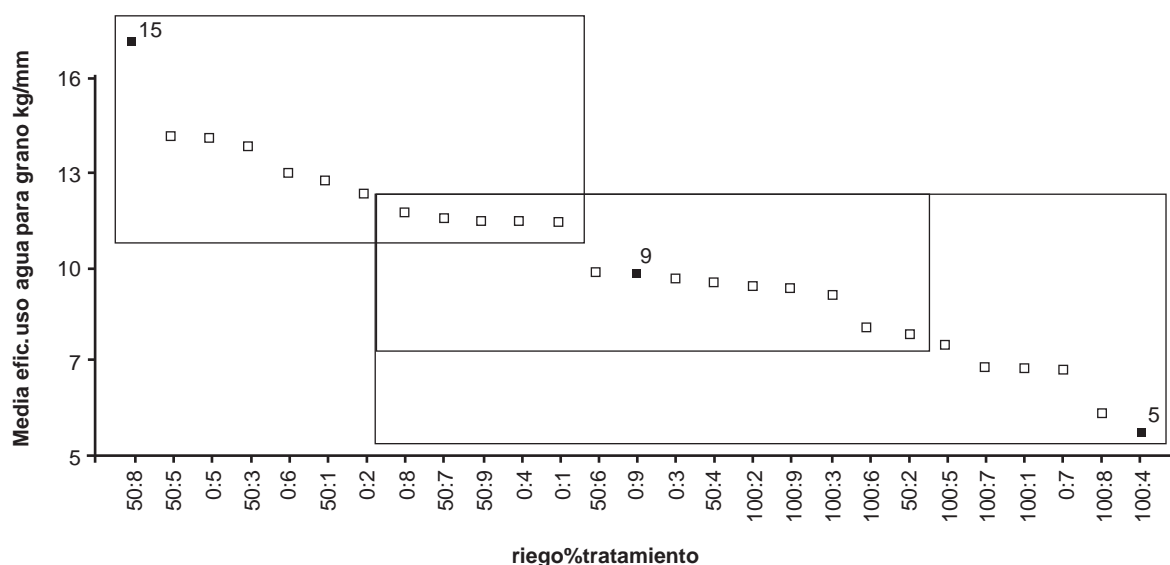


Figura 2. Eficiencia en el uso del agua en la campaña 2006-2007. Entre recuadros, grupos de tratamientos de igual significancia para el rendimiento mayor, medio y menor para Tukey-Kramer $\alpha = 0,05$.

Otros autores en condiciones de salinidad llegaron a resultados comparables a los de este trabajo. En Omán, maíz regado por aspersión sobre suelos salinos con una CE de 3,9-4,2 dS m^{-1} produjo 4.520 kg ha^{-1} de grano (Esechie *et al.*, 2004). En España los rendimientos máximos fueron de 8.096 y 6.843 kg ha^{-1} para 2,53 y 4,32 dS m^{-1} de CE del suelo, respectivamente (Cordero Gracia y Parra Galant, 2004); regando por aspersión con agua de 3,5 dS m^{-1} produjeron 10.500 kg ha^{-1} (Isla *et al.*, 2006) y en Italia se obtuvieron rendimientos de 3.130 y 4.430 kg ha^{-1} regando con agua de 6 y 3 dS m^{-1} de CE respectivamente (Guelloubi *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

El presente trabajo abarcó dos ciclos de cultivos diferenciados entre sí por la cantidad de precipitaciones recibidas

en cada uno. Esta situación provocó que las respuestas al riego con agua salina y al aporte de niveles graduales de nitrógeno y fósforo, tanto para rendimiento en grano como para eficiencia en el uso de agua, fueran distintas.

Los mayores rendimientos y eficiencias se presentaron en los tratamientos que recibieron menor cantidad de agua salina y en el año en que las precipitaciones fueron mayores. El agua de lluvia contribuyó, por un lado, al lavado de sales aportadas por el riego y, por otro, a que los tratamientos con dosis medias de fertilizantes potencien las dos variables evaluadas.

El agua salina usada al 100% como riego complementario provocó los menores rendimientos de grano y EUA.

No se encontró respuesta a la fertilización nitrogenada ni fosforada en cuanto a rendimiento y EUA durante la prime-

ra campaña. En un año con precipitación menor a la media se lograron estabilizar los rendimientos regando con agua salina aun que no hubo respuesta a la fertilización.

Durante la segunda campaña, los mayores rendimientos se lograron con niveles de fertilización y riego medios. Al ser un ciclo estival con precipitaciones superiores a la media, los tratamientos de secano también lograron un buen desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R.G.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Versión digital: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#chapter%202%20%20%20%20%20penman%20monteith%20equation>, verificado: mayo 2010).
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. 1987. La Calidad del Agua en la Agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje N.º 29. Roma.
- BRESLER, E.; MCNEAL, B.L.; CARTER, D.L. 1982. Saline and sodic soils: Principles-Dynamics-Modeling. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg New York. 236 pp.
- CORDERO GRACIA, J.; PARRA GALANT, G. 2004. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica en el Estudio y Análisis de los Problemas Derivados de la Salinidad de las Aguas de Riego en la Vega Baja del Río Segura. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Mapping interactivo. Versión digital (http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=772, Verificado: mayo 2010)
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage. Paper N.º 33.
- ECHEVERRÍA, J.C.; KALL, G.F. 1990. Las Lluvias en Villa Mercedes, San Luis. Información técnica N.º 113. Centro Regional La Pampa – San Luis, EEA San Luis.
- ESECHIE, H.A.; RODRÍGUEZ, V.; AL-ASMI, H. 2004. Comparison of local and exotic maize varieties for stalk lodging components in adersert climate. European Journal of Agronomy. Volume 21, Issue 1, June 2004, Pages 21-30.
- FEIGIN, A. 1985. Fertilization management of crops irrigated with saline water. Biosalinity in Action: Bioproduction with Saline Water. Developments in Plant and Soil Sciences Volume 17, pp 285-299
- GARAY, J.A.; COLOMBINO, M.A. 2002. Guía Técnica para los Cultivos de Maíz y Girasol bajo Condiciones de Riego en la Provincia de San Luis. Información Técnica N.º 158. INTA EEA San Luis – UNSL. 17 pp.
- GÉNOVA, L.J. 1993. Estudio de la degradación de los suelos bajo riego complementario de cultivos extensivos con aguas subterráneas del acuífero pampeano en el norte de Buenos Aires. XIV Congreso Argentino de Ciencia del Suelo, Mendoza 25 al 29 de octubre de 1993, 347-348.
- GUELLOUBI, R.; HAMDY, A.; SARDO, V. 2005. Maize production under supplemental irrigation with saline water in rainfed agriculture. Versión digital (http://www.iamb.it/iamb2005/conference/proceedings_fichiers/topic5/guelloubi.pdf, verificado: mayo 2010).
- ISLA, R.; ARAGÜES, R.; ROYO, A. 2006. Yield Response of Alfalfa and Maize Sprinkler-Irrigated with Saline Waters: Nocturnal vs. Diurnal Irrigation Effects. Versión electrónica (<http://symp2006.cu.edu.tr/osman%20tekinel/pdf/Isla%20R.pdf>, Verificado: mayo 2010).
- MARTELLOTO, E.; SALAS, P.; LOVERA, E.; SALINAS, A.; MANZINI, P. 1999. Capacitación, experimentación y transferencia de tecnología en riego suplementario. Proyecto de intensificación de granos. INTA Manfredi. Manfredi. Córdoba.
- NOSETTO, M.D.; JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B.; SZNAIDER, G.A. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. Field Crops Research 113 (2009) 138–148.
- ORTA, J.O. 2006. Aplicación del Modelo CERES-Maize como Herramienta para Evaluar Estrategias de Manejo del Cultivo de Maíz Bajo Riego y secano, en el Área de Villa Mercedes (San Luis). Tesis para optar al grado académico de Magister en Ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- ORTIZ FRANCO, P.; AMADO ÁLVAREZ, J.P. 2001. Uso del Agua de la Laguna de Bustillos para la Producción de Maíz. TERRA Latinoamericana, abril-junio, año/vol. 19, número 002. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 183-189.
- PEÑA ZUBIATE, C.A.; D'HIRIART, A.; AGUIRRE, E.R.; DEMMI, M.A.; ELIZONDO, J.D.; GARCIA, S.M.; PASCUARELLI, A.P. 2000. Carta de Suelos de la República Argentina – Hoja Villa Mercedes Provincia de San Luis. INTA – Gobierno de la Provincia de San Luis. 195 pags.
- PRIETO, D.; ANGUERIA, C. 1996. Calidad de agua para riego. Módulo II. En: Curso a distancia de “Métodos de Riego”. INTA-PROCADIS, Programa Clima y agua. 94 pp.
- PUIATTI, J.M.; CRESPI, R.J.; RIVETTI, A.R.; CANTERO, A.; BONADEO, E. 1985. Respuesta al 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.
- RIVETTI, A.R. 2005. Producción de Maíz Bajo Diferentes Regímenes de Riego Complementario en Río Cuarto – Córdoba – Argentina. Tesis Magister Scientiae en Riego y Drenaje, UNC.
- VENECIANO, J.H.; TERENTI, O.A.; FEDERIGI, M.E. 2000. Villa Mercedes (San Luis): Reseña climática del siglo XX. INTA EEA San Luis, Información Técnica N.º 156.
- VENECIANO, J.H.; FRIGERIO, K.L. 2002. Macronutrientes primarios exportados por los agroecosistemas extensivos de San Luis. INTA San Luis, Inf. técnica 160.
- VENECIANO, J.H.; SAENZ, C.A.; PANZA, A.A. 2005. Las Lluvias y el Cultivo de Maíz en el Centro Este de San Luis. Avances en la Producción Vegetal y Animal del NOA. San Miguel de Tucumán, Abril de 2005. 03 – Cultivos 08.
- WILCOX, L.V.; BLAIR, G.Y.; BOWER, C.A. 1954. Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. Soil Sciences 77: 259-266.