

RENDIMIENTO DE MAÍZ EN CONDICIONES DE RIEGO COMPLEMENTARIO CON AGUA SALINA Y FERTILIZACIÓN EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA

Saenz, C. A.¹; V. F. Gómez Hermida¹; J. A. Morábito²; K. L. Frigerio¹ y
O. A. Terenti¹

INTA EEA San Luis¹ e INA-CRA²

Cruce Ruta Nacional 7 y 8, CC 17, CP 5730, Tel: 02657-422616, Villa Mercedes, (S. L.) -
csaenz@sanluis.inta.gov.ar

RESUMEN

La isohieta de 500 mm marca el límite oeste de la región semiárida pampeana en la que los cultivos estivales son la base de la agricultura debido a las características pluviométricas. En esta región el cultivo de maíz es una herramienta importante para mantener el suelo cubierto con rastrojos en sistemas agrícolas. En la provincia de San Luis, se cultivan en promedio 133.500 ha con un rendimiento medio de 1.609 kg ha⁻¹, muy inferior a lo que se puede obtener bajo riego complementario. La cuenca de Colonia Los Manantiales, ubicada al norte del Río Quinto, dispone de agua subterránea en cantidad y a escasa profundidad, la misma se caracteriza como C₄S₄ “no apta para riego”, si bien no es recomendable regar con esta calidad de agua, se considera que en suelos arenosos, de alta permeabilidad y de fácil lavado se pueden aumentar los rendimientos de maíz con riego complementario y con esta calidad de agua. El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento y eficiencia del uso del agua en dos híbridos de maíz con tres niveles de disponibilidad de agua y nueve niveles de fertilización. Se realizó un ensayo en una superficie de 1,3 has en un suelo haplustol ácuico, moderadamente salino, con 2,34 % de materia orgánica y con una capacidad de almacenaje de 246 mm m⁻¹ de agua útil, donde se instaló un sistema de aspersión fija alimentado con agua subterránea salina con una conductividad de 4,26 dS.m⁻¹. El diseño estadístico del ensayo es completamente aleatorizado en parcelas subdivididas con restricciones de aleatorización. La parcela primaria correspondió al tipo de híbrido (Clearfield y Roundup ready), la parcela secundaria a la dosis de riego 100 % del requerimiento del cultivo, 50 % y secano, y la parcela terciaria correspondiente a la unidad experimental, comprendió 9 niveles de fertilización con 3 repeticiones, donde se aplicó fosfato diamónico en preemergencia y urea repartida en dos dosis iguales, en posemergencia y en estado de 8 hojas de acuerdo a cada tratamiento. El contenido hídrico del suelo se determinó quincenalmente aplicándose en base a esto las dosis de riego correspondientes. El rendimiento de cada unidad experimental se determinó mediante la cosecha de dos metros lineales centrales. Se analizaron los resultados con mediante test de Duncan ($\alpha = 0,05$). Se encontró una interacción entre los híbridos y el nivel de riego, donde se observó que el híbrido Roundup Ready obtuvo rendimientos significativamente superiores bajo riego y mayor eficiencia en el uso del agua bajo estas condiciones de trabajo.

INTRODUCCIÓN

La región semiárida pampeana representa el 14 % de la República Argentina. Las precipitaciones oscilan entre 700 mm en el este y 500 mm en el oeste, concentradas en la época primavera-estival. La isohieta de los 500 mm que atraviesa el centro de la Provincia de San Luis, marca el límite oeste de esta región (Glave, 1989). En agricultura extensiva

son habituales los cultivos estivales debido a las características del régimen de las precipitaciones, siendo las condiciones invernales extremadamente secas (Orta 2006).

Es una región de producción mixta con una importante participación de la actividad agrícola, donde el cultivo de maíz es una herramienta importante para mantener el suelo cubierto con rastrojos. Esto es beneficioso para el inicio de sistemas continuos de siembra directa en la pampa arenosa, al facilitar la acumulación y mantenimiento de materia orgánica en el suelo (Díaz Zorita, M. y Grove, J.H. 2001)

La superficie cultivada con maíz de secano ha sido tradicionalmente relevante en San Luis, con alta variabilidad entre años y un promedio de 133.500 ha para las últimas cuatro décadas, con un rendimiento medio considerablemente bajo ($1.609 \pm 690 \text{ kg ha}^{-1}$) (Veneciano y Frigerio, 2002). Explican este comportamiento diversos factores, destacándose entre ellos la escasa oferta de nutrientes de nuestros suelos y la limitada disponibilidad estacional de agua (Veneciano et al., 2005) ya que la zona presenta un déficit hídrico de 488 mm durante el ciclo de cultivo de maíz (Veneciano et al. 2000).

El rendimiento promedio del cultivo en secano está muy por debajo de lo que se puede obtener bajo riego complementario en San Luis, donde se logran rendimientos medios de 8.000 a 10.000 kg ha^{-1} en emprendimientos a gran escala bajo riego con pívot central. De acuerdo a la bibliografía los rendimientos potenciales llegan a 14.000 kg ha^{-1} de grano en la provincia (Garay y Colombino 2002). En Villa Mercedes en la campaña 2002-03 se obtuvieron 5960 kg ha^{-1} de grano en maíz bajo riego fertilizado con estiércol (Cortés et al. 2002) y 9900 kg ha^{-1} en la campaña 2000-01 (Orta, 2006). En Río Cuarto se han reportado valores de producción bajo riego de 7252 kg ha^{-1} (Puiatti, 1985) y 16.000 kg ha^{-1} (Rivetti, 2005), valores similares se han obtenido en Balcarce (Barbieri et al. 2000).

La eficiencia en el uso del agua en la producción de grano de maíz varía de acuerdo a las características edafoclimáticas, registrándose valores de 12 kg mm^{-1} (Doorenbos y Kassam, 1979); en trabajos zonales, en Río Cuarto 10,84 kg mm^{-1} (Puiatti et al. 1985) y 27 a 29 kg mm^{-1} (Rivetti, 2005). En Manfredi se han registrado valores de 12,38; 17,66 y 12,36 kg mm^{-1} para las campañas 96/97, 97/98 y 98/99 respectivamente (Martelloto et al. 1999).

La cuenca de Colonia Los Manantiales se encuentra al norte del Río Quinto, consta de una superficie de aproximadamente 30.000 ha y se caracteriza por sufrir inundaciones temporales a causa del ascenso freático, por ende se dispone de agua subterránea en cantidad y a escasa profundidad, la misma no es apta para riego por su salinidad ya que es clasificada como C4S4 (Proyecto de Recursos Hidrológicos Subterráneos de San Luis. 2002). Si bien, no se recomienda regar con esta calidad de agua, se considera que nuestros suelos son muy arenosos, de una alta permeabilidad y de fácil lavado, por lo que es importante evaluar el cultivo de maíz mediante la aplicación de riego complementario.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento y eficiencia del uso del agua en dos híbridos de maíz, con tres niveles de disponibilidad de agua y nueve niveles de fertilización.

Se considera que en maíz bajo riego complementario con agua salina se pueden aumentar significativamente los rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental de INTA San Luis, en Villa Mercedes. Constó de una superficie de 1,3 has donde se instaló un sistema de aspersión fija alimentado con agua subterránea.

Los suelos de esta zona son caracterizados como haplustoles ácuicos, moderadamente salinos a partir de los 50 cm de profundidad, con valores de materia orgánica de 2,34 % (Peña Zubiarte et al. 2000).

Se determinaron las constantes hídricas del suelo mediante el método de la olla de presión, encontrando una capacidad de almacenaje de 246 mm m⁻¹ de agua útil.

Se evaluaron los aspersores de riego utilizados, determinando una uniformidad de distribución (UD) de 80%, el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) 88% y la eficiencia de descarga (Ed) 90%. Para ello se distribuyeron 24 pluviómetros de 66 mm de diámetro, ubicados en las parcelas que constituirán las unidades experimentales.

El ensayo constó de dos parcelas primarias (PPHM) donde se sembraron dos tipos de híbrido (tecnología de semilla) de maíz de reciente difusión, Roundup Ready donde se utilizó el híbrido G82RR2 DK y Clearfield con el híbrido AX884IT.

Transversal a estas franjas se dispusieron las parcelas secundarias (PSR) correspondientes a dos niveles de riego y un testigo en seco. Para regar se utilizó agua subterránea sulfato sódica caracterizada como C₄S₄ con una conductividad de 4,26 dS.m⁻¹ y un RAS de 16.

En dos de estas franjas se armaron sendos sistemas de riego por aspersión fija, que permitieron efectuar el riego con dosis diferenciales y el tercer sector que fue en seco. A un sector se le aplicó semanalmente el 100 % del requerimiento de riego y al segundo el 50% durante todo el ciclo del cultivo. Cada tratamiento de riego y de tecnología de semilla tuvo dos aspersores tal como se ejemplifica en la figura 1, cada uno de estos aspersores riega una superficie de 450 m² con una pluviometría de 3,6 mm h⁻¹.

La lámina a aplicar en cada caso se determinó quincenalmente de la siguiente forma:

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

donde:

Dr = Dosis de riego.

Evp = evapotranspiración potencial de acuerdo a datos históricos locales (Veneciano et al. 2000)

Kc = coeficiente de cultivo de acuerdo a Doorenbos y Kassam 1979.

Pp = precipitación medida en el sitio del ensayo.

Wc = agua almacenable en el perfil en capacidad de campo de acuerdo a la curva de retención hídrica del suelo.

Wa = agua actual en el perfil determinada por gravimetría.

Rl = fracción de lavado de acuerdo al método de Ayers y Westcott 1976 donde:

$$Rl = \frac{CE_r}{5 \cdot CE_{es} - CE_r}$$

El contenido hídrico del suelo se determinó quincenalmente mediante gravimetría en los siguientes 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 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. En base a estas determinaciones se aplicaron las dosis de riego que se detallan en Tabla 1. Se colocaron tres freatómetros en el sector del ensayo para registrar la profundidad de la napa a lo largo del ciclo de cultivo. El nivel freático no se encontró durante todo el ciclo de cultivo a menos de 2 m de profundidad, por lo que el aporte de agua freática se considera despreciable.

Tabla 1. Precipitaciones y lámina de riego aplicada

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	14	195	95		461
Lamina aplicada (mm) para 50 % de requerimiento.		14	71	98	49		231

Dentro del área de influencia de cada aspersor se instalaron las parcelas terciarias (PTF) (Unidad Experimental) comprendidas por 9 niveles de fertilización con tres repeticiones distribuidas al azar (Figura 1), los tratamientos se detallan en Tabla 2. Las dimensiones de cada unidad fueron 3,5 m x 4,30 m de longitud, comprendidas por 5 surcos a 0,70 m entre surcos.

Tabla 2. Parcela terciaria, niveles de fertilización

Tratamiento	N	P	Urea	Fosfato diamónico
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
T₁	0	0	0	0
T₂	100	0	217	0
T₃	150	0	326	0
T₄	20	22	0	109
T₅	100	22	174	109
T₆	150	22	283	109
T₇	31	35	0	174
T₈	100	35	150	174
T₉	150	35	259	174

En los tratamientos el fosfato diamónico se lo aplicó enterrándolo en la línea de siembra en preemergencia, mientras que la urea se aplicó en dos dosis iguales en la zona central entre dos surcos previo a un riego para lograr su incorporación, la primera dosis en posemergencia y la segunda cuando el cultivo presentaba 8 hojas (V8).

Las variables de respuesta que se midieron fueron rendimiento, eficiencia en el uso del agua y eficiencia en el uso del agua de riego.

El rendimiento de grano de cada unidad experimental se determinó mediante la cosecha de dos metros lineales centrales de cada una de ellas, luego se trillaron las espigas a mano para medir el peso de granos.

La eficiencia en el uso del agua se calculó como el cociente entre producción de granos y la lamina evapotranspirada por el cultivo durante todo el ciclo, constituida por las precipitaciones y el riego.

Mientras que la eficiencia en el uso del agua de riegos se calculo como el cociente entre producción de granos y la lamina de riego recibida por el cultivo durante el ciclo.

El diseño estadístico del ensayo fue completamente aleatorizado en parcelas subdivididas con restricciones de aleatorización. Los valores de respuesta se analizaron con software infostat y sas mediante el test de Duncan (alfa = 0,05). El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \delta_{l(i)} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \omega_{l(ij)} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

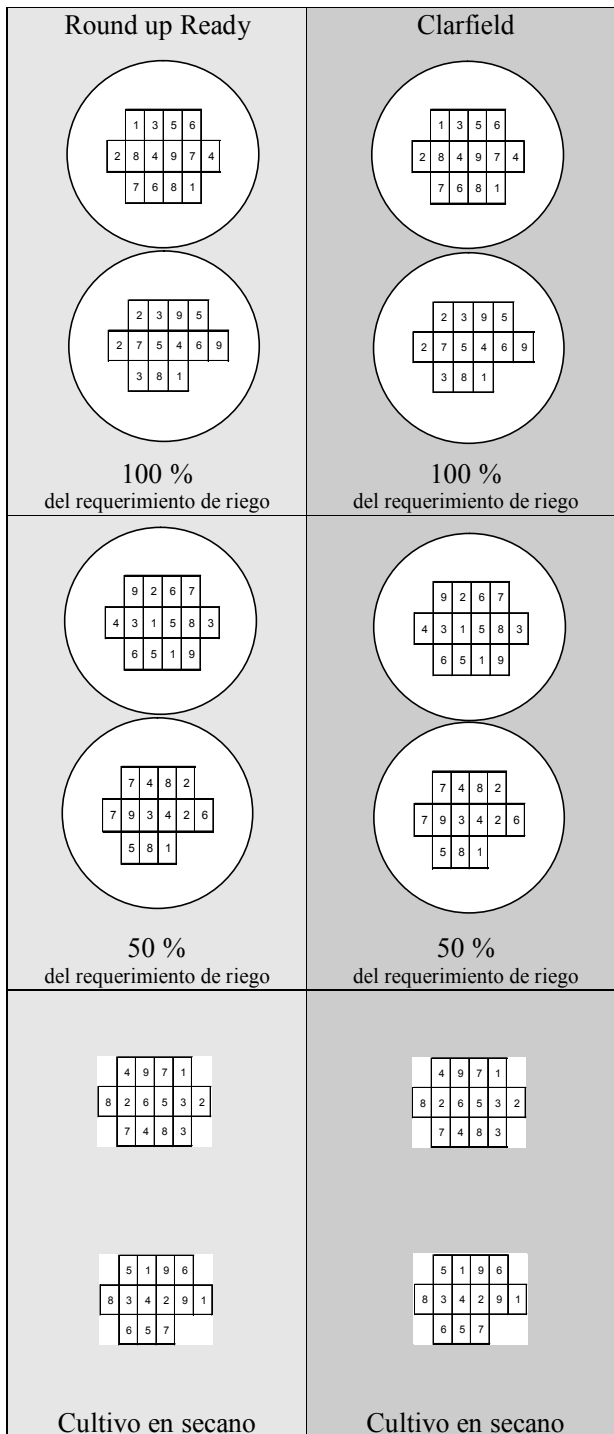


Figura 1

RESULTADOS

En cuanto a rendimiento de grano, bajo el modelo estadístico la triple interacción de los resultados entre híbridos, nivel de riego y tratamiento de fertilización no es significativa. Pero si es significativa la interacción entre los híbridos y el nivel de riego por lo que deben ser analizados en conjunto y se presentan en Tabla 3, donde se puede observar que de los híbridos utilizados Roundup Ready obtuvo rendimientos superiores bajo riego.

Tabla 3. Rendimiento kg ha⁻¹

Híbrido PPH	Riego PSR	Duncan	Media kg ha ⁻¹
Roundup Ready	50 %	A	6465,9
Roundup Ready	100 %	A B	6261,0
Clearfield	100 %	B C	4706,8
Clearfield	50 %	C D	3227,2
Roundup Ready	Secano	D	2599,9
Clearfield	Secano	D	1658,3

En cuanto a fertilización, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo podemos mencionar que los tratamientos de mayor producción correspondieron al híbrido Roundup Ready, con 100 % de riego y fertilización T5, se logró 8080 kg de grano ha⁻¹ y el Roundup Ready, con 50 % de riego y fertilización T8, produjo 7878 kg de grano ha⁻¹. Mientras que los que tuvieron menor rendimiento fueron Roundup Ready en secano con fertilización T2 y Clearfield en secano con fertilización T6, que rindieron 866 kg de grano ha⁻¹ y 825 kg de grano ha⁻¹, respectivamente.

La eficiencia en el uso del agua evapotranspirada fue superior en el híbrido Roundup Ready (Tabla 4) que produjo 8,6 kg grano mm⁻¹, contra 5,2 kg grano mm⁻¹ que logró Clearfield. Entre los tratamientos de riego también hubo diferencias en la eficiencia en el uso del agua (precipitación + riego), en este caso a favor del tratamiento donde se aplicó el 50 % del requerimiento de riego (Tabla 5).

La eficiencia en el uso del agua de riego fue superior en el híbrido Roundup Ready regado con el 50 % del requerimiento hídrico, logrando 28 kg de grano mm⁻¹ de riego aplicado (Tabla 6).

Tabla 4. Eficiencia en el uso del agua evapotranspirada kg grano mm⁻¹

Híbrido PPH	Duncan	Media kg mm ⁻¹
Roundup Ready	A	8,6
Clearfield	B	5,2

Tabla 5 Eficiencia en el uso (precipitación + riego) del agua kg grano mm⁻¹

Riego PSR	Duncan	Media kg mm ⁻¹
50 % del requerimiento	A	8,2
100 % del requerimiento	B	6,7
Secano	B	5,9

Tabla 6. Eficiencia en el uso del agua de riego kg grano mm⁻¹

Híbrido PPH	Riego PSR	Duncan	Media kg mm ⁻¹
Roundup Ready	50 %	A	28,0
Clearfield	50 %	B	13,8
Roundup Ready	100 %	B	13,6
Clearfield	100 %	B	10,2

CONCLUSIONES

El híbrido Roundup Ready regado al 50 % del requerimiento hídrico fue el que mejor se comportó bajo estas condiciones de trabajo obteniendo significativamente mayores rendimientos.

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua (precipitaciones + riego) el híbrido Roundup Ready fue superior con 8,6 kg mm⁻¹, con una eficiencia en el uso del agua de riego de 28 kg de grano mm⁻¹ de riego aplicado. Contra 5,2 kg grano mm⁻¹ y 13,8 kg grano mm⁻¹ que logró Clearfield.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, P. A.; Sainz Rosas, H. R.; Andrade, F. H. and Echeverría, H. E.** (2000). *Row Spacing Effects at different of Nitrogen Availability in Maize*. Agron. J. 92:283-288.
- Cortés, M.A.; Aguilera, M.O. y Sáenz, C.A.** (2002) *Efecto de Adiciones de Urea y Estiércol en la Producción de Maíz para Silaje*. Revista Argentina de Producción Animal. 25° Congreso Argentino de Producción Animal. Vol. 22 – Supl. 1. PP 40. Pag. 140-142.
- Díaz-Zorita, M. y Grove, J.H.** (2001). *Rotación de Cultivos en Siembra Directa y las Propiedades de Suelos en la Pampa Arenosa. Siembra Directa II*. Ediciones INTA. Pag. 235-238.
- Doorenbos, J. y Kassam, A. H.** (1979). *Yield response to water*. FAO Irrigation and drainage. Paper N° 33.
- Garay, J. A. y 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° 158. INTA EEA San Luis – UNSL. 17 pp.
- Glave, A. E.** (1989). *Manejo del suelo y del agua en la Región Semiárida Pampeana*. Revista ACAECER. 15 (155): 33.
- Martelloto, 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. INRTA Manfredi. Manfredi. Córdoba.
- 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.
- Peña Zubiarte, C.A; d'Hiriart, A.; Aguirre, E.R.; Demmi, M.A.; Elizondo, J.D.; Garcia, S.M. y 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.
- Puiatti, J.M.; Crespi, R.J.; Rivetti, A.R.; Cantero, A. y 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.

- Recursos Hidrológicos Subterráneos de San Luis.** (2002). Proyecto de Cooperación Técnica sobre los Recursos Hidrológicos Subterráneos de San Luis – Australian Bureau of Rural Sciences, SEGEMAR, Gobierno de la Provincia de San Luis.
- Rivetti, A. R.** (2005). *Producción de Maíz Bajo Diferentes Regimenes de Riego Complementario en Río Cuarto – Córdoba – Argentina.* Tesis Magister Scientiae en Riego y Drenaje, UNC.
- Veneciano, J.H.; Terenti, O.A. y Federigi, M.E.** (2000). *Villa Mercedes (San Luis): Reseña climática del siglo XX.* INTA EEA San Luis, Información Técnica N° 156.
- Veneciano, J.H. y Frigerio, K. L.** (2002). *Macronutrientes primarios exportados por los agroecosistemas extensivos de San Luis.* INTA San Luis, Inf. técnica 160.
- Veneciano, J.H.; Sáenz, C.A. y Panza, 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.