

Productividad y consumo de agua de maíz tardío en el centro de San Luis (Argentina): Cambios provocados por la fertilización nitrogenada

J.L. Mercou^{1,2,*} M.A. Ibarra^{1,2} y E.G. Jobbagy²

Introducción

El avance y la consolidación de la frontera agrícola en el cordón semiárido central de Argentina son vigorosos en el centro de la provincia de San Luis. La producción de maíz, que ocupa la mitad del área agrícola de la provincia, enfrenta el desafío de obtener buenos rendimientos en seco, con un riesgo tolerable, en un ambiente con lluvias escasas y altamente variables (Magliano et al., en prensa). Al igual que otras regiones (Maddonni, 2012), las siembras tardías en la zona permiten aumentar la oferta hídrica porque: i) favorecen la recarga completa del perfil, y ii) ubican el periodo desde siembra a madurez fisiológica en una época del año con mayor nivel de precipitaciones. Sin embargo, como los suelos predominantes son de texturas arenosas y con bajo contenido de materia orgánica, es posible que la oferta de nitrógeno (N) sea escasa para el crecimiento del cultivo, afectando su capacidad para utilizar el agua y transformarla en rendimiento (Linscott et al., 1962; Singh et al., 1979).

Uno de los riesgos ambientales generados por el avance agrícola en el semiárido central de Argentina es desencadenado por la pérdida de agua en profundidad, y el ascenso freático y salinización/erosión que lo puede acompañar (Santoni et al., 2010; Contreras et al., 2013). La elevada capacidad de transpirar, y sus raíces profundas, permiten a los montes nativos usar toda el agua de lluvia suprimiendo el drenaje profundo y favoreciendo la acumulación de sales por debajo de los primeros metros de suelo. El agua que pierde la agricultura en profundidad arrastra estas sales, eleva la napa freática y puede disparar procesos de salinización en la superficie conocidos, en otros continentes, como "dryland salinity" (Scanlon et al., 2007). En el pedemonte serrano, estos aumentos de recarga freática han desencadenado la aparición abrupta de nuevos ríos salobres (Contreras et al., 2013). Al

favorecer la recarga del perfil, la siembra tardía aumenta el riesgo de recarga freática. En este trabajo evaluamos el cambio que produce la fertilización nitrogenada del maíz tardío en el consumo de agua y en sus efectos sobre la productividad en grano del agua ofrecida y sobre el drenaje profundo y recarga freática, considerando un amplio gradiente de precipitaciones medias y texturas de suelo en el centro de la provincia de San Luis (Argentina).

Materiales y métodos

Se realizaron cinco ensayos, en disposición de grandes franjas bajo condiciones de seco en campos del centro de San Luis (entre 33.18° y 34.06° S y entre 65.77° a 66.17° W), denominados A, B, C, D y E, por su ubicación a lo largo de un gradiente de precipitación media anual (**Tabla 1**). En la campaña 2013/14 (base 1 de junio) recibieron 905, 791, 530, 548 y 615 mm, respectivamente, con una distribución irregular en el ciclo del cultivo (**Figura 1**). Los suelos fueron profundos con 45 a 90% de arena (0-200 cm) y 0.7 a 1.7 % de materia orgánica (**Tabla 1**). El maíz se sembró entre el 28 de noviembre y el 12 de diciembre, procurando, y logrando, entre 36 000 y 56 000 plantas ha⁻¹ con híbridos de madurez relativa 118 a 122. El antecesor fue soja en todos los sitios excepto en el E, donde fue centeno. Se evaluó un testigo sin fertilizar (21- 54 kg N-nitrato ha⁻¹ en los primeros 60 cm del perfil, **Tabla 1**) y un tratamiento fertilizado a la siembra con urea incorporada (agregando 56-75 kg N ha⁻¹).

Los tratamientos testigo y fertilizado contaron con dos y tres repeticiones, respectivamente, y cada unidades experimental cubría entre 0.07 a 0.29 ha. La siembra y cosecha fueron mecánicas, y el manejo fue igual al de un lote comercial, sin que los cultivos hayan sufrido daños por adversidades. La disponibilidad de agua útil se midió hasta dos metros de profundidad, cada 20 cm, en tres momentos del ciclo del cultivo de maíz: i) siembra, ii) cuaje de granos, y

Tabla 1. Descripción de los cinco sitios de ensayo: Fr (Textura franca), FrAr (Franco arenosa), ArFr (Areno franca) y Ar (Arenosa). El antecesor centeno es un cultivo cosechado en la misma campaña que tuvo soja como antecesor.

		----- Sitios Experimentales -----				
		A	B	C	D	E
Lluvia histórica	mm año ⁻¹	800	700	600	500	400
Textura superficial		Fr	FrAr	FrAr	ArFr	Ar
Materia Orgánica (0-20 cm)	%	1.7	1.2	1.2	0.7	0.8
N-NO ₃ (0-60cm)	kg ha ⁻¹	54	28	49	38	21
Antecesor		Soja	Soja	Soja	Soja	Centeno
Fecha de siembra		28-Nov	01-Dic	03-Dic	28-Nov	11-Dic
Densidad	Pl ha ⁻¹	56 000	54 000	54 000	40 000	36 000

¹ Chacra San Luis, AAPRESID.

² Grupo de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de San Luis y CONICET. San Luis, Argentina. *Correo electrónico: jorgemercou@gmail.com

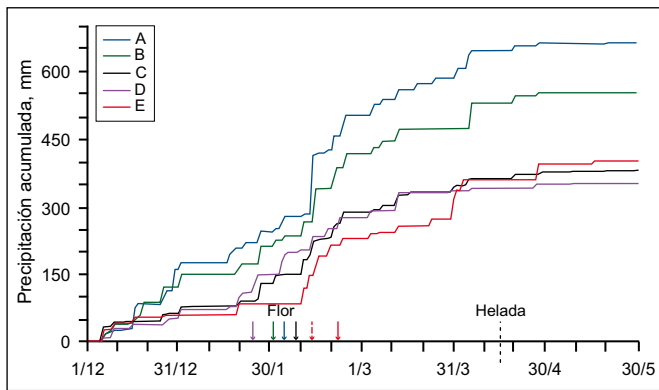


Figura 1. Distribución comparativa de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo de maíz para los diferentes sitios bajo estudio (A, B, C, D, E).

iii) madurez fisiológica (Figura 2). A partir de la textura y las mediciones en todo el ciclo se estimaron los límites hídricos en cada ensayo (Figura 2). En base a un balance hídrico diario, calculando lluvias efectivas con la aproximación de curva número y la demanda mediante la aproximación FAO-56 con un coeficiente de cultivo único y evapotranspiración (ETP) de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), se estimó el drenaje profundo (pérdida de agua debajo de los 2 m). El consumo aparente se estimó como la suma de las lluvias en el ciclo (Figura 1), y la diferencia de contenido de agua entre siembra y madurez (Figura 2), menos el drenaje. La evapotranspiración real del cultivo (ETc) se obtuvo del mismo modo pero utilizando las lluvias efectivas.

Resultados y discusión

La fertilización con N aumentó el rendimiento en cuatro de los cinco ensayos (Figura 3). Al igual que en zonas húmedas (Otegui et al., 2002), el manejo adecuado de este nutriente modifica el resultado del cultivo en siembras tardías. Los rendimientos fluctuaron entre 1098 y 10 255 kg ha⁻¹. Los valores más bajos fueron en el sitio E, que se sembró con 29 mm de agua útil en todo el perfil (Figura 2), y que sufrió el más largo periodo sin lluvias en enero y principio de febrero, retrasando la floración alrededor de 10 días (datos no mostrados). Los otros cuatro ensayos partieron con el perfil casi lleno al momento de la siembra (89-96% del agua útil, (Figura 2). Los cultivos atravesaron un periodo con pocas lluvias hasta unos 10 días antes del segundo muestreo (12-28 de febrero), generando un consumo importante del agua del suelo en el segundo metro (Figura 2, muestreo de cuaje).

La fertilización con N redujo la cantidad de agua en el suelo al momento del cuaje (Figura 2), evitando las pérdidas por drenaje profundo que se produjeron en el llenado de granos cuando no se fertilizó (Tabla 2, Figura 2). En los ensayos A, B y C, las parcelas fertilizadas tuvieron, respectivamente, 53, 59 y 94 mm menos de agua en el perfil alrededor del cuaje de granos. En los otros sitios, la diferencia fue inferior a 10 mm. En madurez, en general los perfiles estaban más húmedos, consecuencia de las elevadas lluvias hacia fin del ciclo (Figura 1), y no hubo diferencias importantes entre los tratamientos (Figura 2). Entre ambos muestreos, en los testigos se estimó una pérdida debajo de los dos metros de 53 y 18 mm, en los sitios A y C. En cambio, en las parcelas fertilizadas, el perfil previamente más vacío impidió que ocurra drenaje (Tabla 2). Los eventos de pérdida en profundidad fueron, según sugiere el balance diario, hacia fin de febrero, en los dos ensayos, y también a principios de abril en el ensayo A.

La productividad en grano del agua ofrecida en el ciclo para el cultivo de maíz tardío aumentó con la fertilización, por una combinación de mayor evapotranspiración con reducción del drenaje, y de mayor eficiencia de uso del agua evapotranspirada (Tabla 2). La evapotranspiración aumentó 50 y 22 mm en los sitios A y B, reduciendo la pérdida de agua en el primero y dejando el perfil un poco más seco en el segundo (Figura 2). En C, aunque el mayor consumo hasta el cuaje evitó el drenaje, las menores lluvias hacia el fin del llenado hicieron que el testigo pueda consumir más porque tenía más agua disponible en el perfil (Figura 2). La eficiencia en el uso del agua evapotranspirada aumentó 13-22% en B, C y D, y cayó un 5% en A. En el sitio E, el crecimiento de los cultivos fue muy pobre, generando valores muy distintos de los otros sitios y sin diferencias importantes entre tratamientos.

Conclusiones

El uso de siembras tardías en el cultivo de maíz contribuye a la consolidación de los planteos agrícolas del cordón semiárido del centro de Argentina. La fertilización nitrogenada permite aumentar la productividad de las escasas y variables lluvias en la región, mejorando el promedio y reduciendo el riesgo económico. Además, el mayor uso del agua en profundidad, reduce el drenaje profundo y la recarga de las napas, uno de los riesgos ambientales generados por la agricultura en estos ambientes.

Tabla 2. Flujos de agua en el ciclo del cultivo (mm), magnitud de la ETc respecto de lluvia anual (PPAnual) y la oferta en el ciclo; y productividad en grano de la oferta de agua consumida y evapotranspirada (ETc) para los tratamientos testigo y Fertilizado de la media y desvío de los tratamiento A, B, C y D. Por separado se muestran los resultados del ensayo E, para ambos tratamientos juntos.

	Flujo de Agua en el ciclo				ETc relativa		Productividad		
	Consumo	ETc	Drenaje	Escorrentía	PP Anual	Of. Ciclo	Of. Ciclo	Consumo	ETc
	mm				%		kg grano mm ⁻¹		
Testigo	504±136	389±82	18±25	115±65	57±12	60±11	12±3	16±6	20±6
Fertilizado	521±158	406±100	0	115±65	59±10	62±9	14±4	18±7	22±7
Sitio E	255±12	196±12	0	59	32±2	56±4	4±0.1	5±0.3	7±0.4

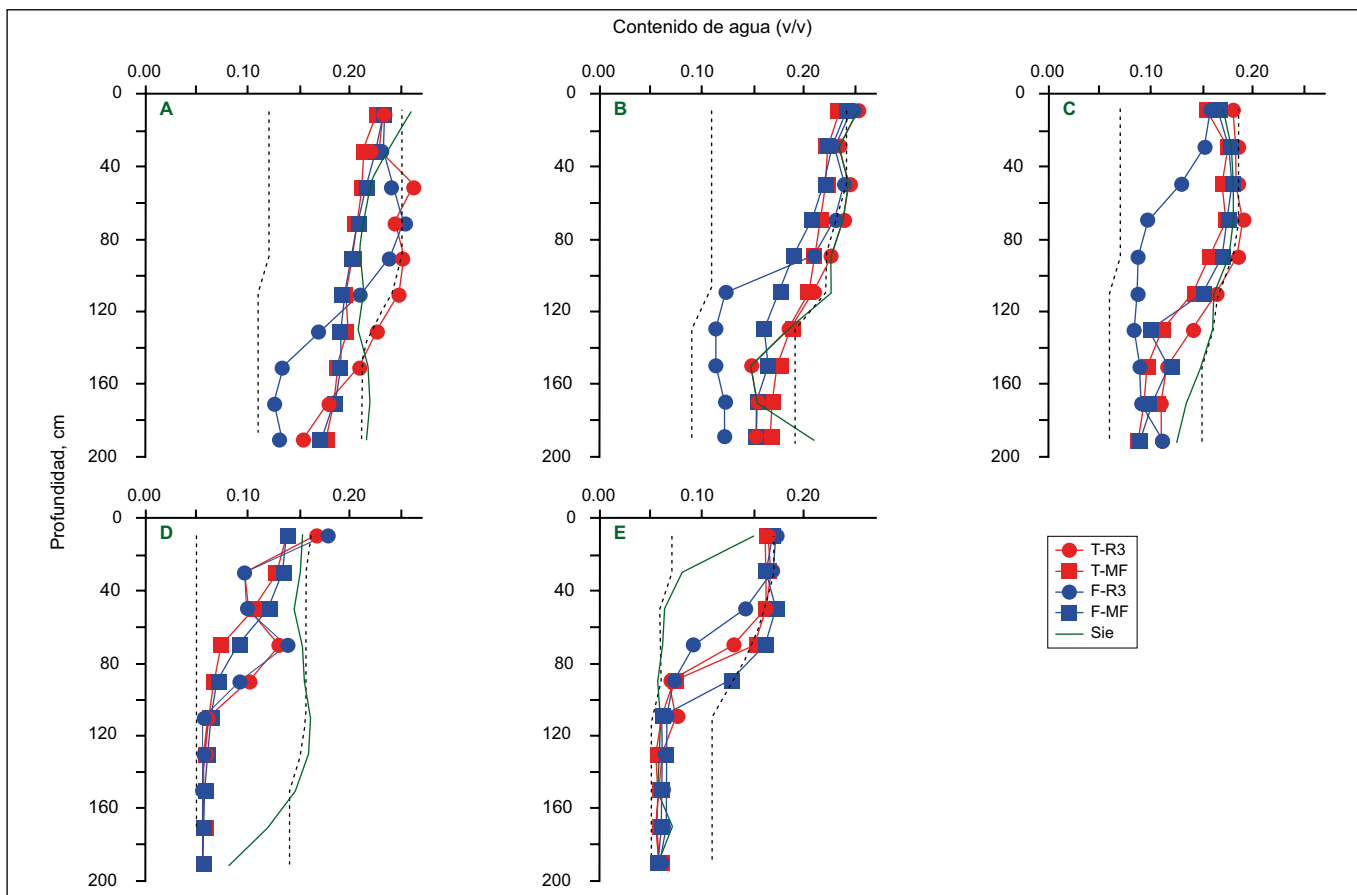


Figura 2. Contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo para los tratamientos testigo (T) y fertilizado (F) en diferentes momentos del ciclo [Sie: siembra; R3: estadio de grano lechoso (12 al 28 de febrero); y MF: madurez fisiológica (14-16 de abril)] en los cinco sitios experimentales. Las líneas punteadas grises indican, para cada sitio, los límites hídricos de marchitez permanente (izquierda) y capacidad de campo (derecha).

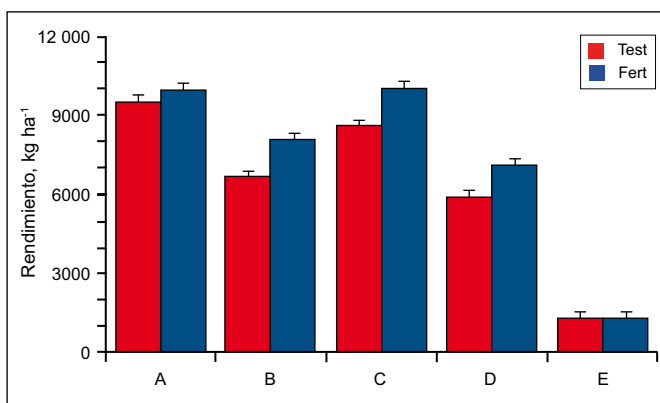


Figura 3. Rendimiento (kg ha^{-1}) de maíz en los cinco ensayos (A-E) en las parcelas testigo (columnas rojas) y fertilizadas (columnas azules). La barra indica el error estándar en cada ensayo.

Agradecimientos

Los productores del proyecto Chacra San Luis (AAPRESID) financiaron el trabajo de Martín Ibarra y la ejecución de los ensayos. El trabajo de Jorge Mercau fue parcialmente financiado por el International Development Research Center (IDRC, Canadá) y el Inter-American Institute for Global Change Research (IAI, SGP-CRA 2031 and CRN 3095), que también financiaron los análisis de agua en el laboratorio del GEA.

Bibliografía

- Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
- Contreras, S., C.S. Santoni, y E.G. Jobbágy. 2012. Abrupt watercourse formation in a semiarid sedimentary landscape of central Argentina: the roles of forest clearing, rainfall variability and seismic activity. *Ecohydrology*, 6:794-805.
- Linscott, D.L., R.L. Fox, y R.C. Lipps. 1962. Corn root distribution and moisture extraction in relation to nitrogen fertilization and soil properties. *Agron. J.* 54: 185– 189.
- Magliano, P.N., R.J. Fernández, J.L. Mercau, y E.G. Jobbágy. En prensa. Precipitation event distribution in central Argentina: Spatial and temporal patterns. *Ecohydrology*.
- Maddoni, G.A. 2012. Analysis of climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina – a probabilistic approach. *Theor. Appl. Climatol.* 107:325-345.
- Otegui, M.E., J.L. Mercau, y F.J. Menéndez. 2002. Estrategias de manejo para la producción de maíz tardío y de segunda. En: E.H. Satorre (Ed.), *Guía Dekalb del cultivo de Maíz*. ISBN 987-20358-0-6. pp 171-184. Disponible en <https://sites.google.com/a/agro.uba.ar/granero/>
- Santoni, C.S., E.G. Jobbágy, y S. Contreras. 2010. Vadose zone transport in dry forests of central Argentina: role of land use. *Water Resources Research* 46: W10541. DOI: 10.1029/2009WR008784.
- Scanlon, B.R., I. Jolly, M. Sophocleus, y L. Zhang. 2007. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. *Water Resources Research*. Vol. 43 (3) March 2007. doi:10.1029/2006WR005486: 1-18.
- Singh, R., B. Dass, N. Singh, e Y. Singh. 1979. Effect of n fertilization on yield and moisture extraction by rainfed maize as affected by soil type and rainfall in Punjab, India. *Field Crop Research*, 2:109-115.*