EFICIENCIA DE USO RECURSOS DE MAÍZ CON DISTINTOS ANTECESORES EN LA CUENCA DEL SALADO

EFFICIENCY OF MAIZE RESOURCE USE WITH DIFFERENT PREDECESSORS IN THE SALADO BASIN

Cicchino MA [(1)]; Garello FJ [(1)]; Larrea GE [(2)]; Rossi F. [(3)]

[(1)]AER Chascomús, EEA Cuenca del Salado
[(2)] AER Maipú, EEA Cuenca del Salado
[(3)] IIB INTECH.

Abstract

This study evaluated the productivity and resource use efficiency of maize in different cropping sequences in the Salado Basin, comparing first-crop maize on long fallow (Mz1°) and second-crop maize after canola (C/Mz) and pea (A/Mz). The trial was carried out during the 2025/26 season at the Chascomús Integrated Experimental Farm, using a completely randomized block design. The Mz1° reached the highest grain yields due to better radiation capture and greater water availability during the critical period, also recording the highest values of kernel number and grain weight.

In the second-crop corn, delaying the planting date reduced the intercepted radiation and the rainfall received. However, corn planted after peas showed a higher grain yield than that planted after canola, which was linked to greater water use efficiency and the possible nitrogen contribution from biological fixation.

Although first-crop corn was individually more productive, no significant differences were observed in the overall productivity of the rotations expressed as glucose equivalents.

Double-cropping systems with corn proved to be a viable and sustainable option for diversifying and increasing regional production stability.

Palabras clave – Keywords

Maíz – Productividad – Antecesor – Recursos
Maize – Productivity – Predecessor – Resources

Introducción

El cultivo de maíz ocupa un rol central en las rotaciones agrícolas de la Cuenca del Salado, principalmente como fuente de alimentación animal (Grano, silaje o pastoreo), siendo fundamental por su aporte de rendimiento; el balance de carbono, la eficiencia de uso del agua y la posibilidad de controlar gran diversidad de malezas, plagas y enfermedades. Tradicionalmente fue utilizado para iniciar la rotación y como único cultivo. Posteriormente la expansión de los cultivos dobles de trigo/soja contribuyó a incrementar la productividad y la rentabilidad del sistema agrícola. Sin embargo, en los últimos años, tanto (i) las innovaciones en el manejo ecofisiológico de maíz tardío (Maddonni y col. 2021) y el mejoramiento genético (Di mateo y col. 2016; Curin y col 2021), como (i) el desarrollo de especies invernales como arveja y colza, que se

presentan como alternativas que pueden superadoras al trigo como antecesor, han posibilitado su inclusión en planteos de doble cultivo (Andrade, 2017a); reposicionándolo con un cultivo más versátil y capaz de explorar ambientes con restricciones o condiciones limitantes.
El objetivo del trabajo fue analizar el rol del cultivo de maíz en distintas secuencias en la Cuenca del Salado, ya sea como único cultivo o en doble cultivo, cuantificando su productividad y su aporte a la eficiencia global de la rotación.

Materiales y métodos

Se condujo un ensayo durante la campaña 2025/26 en la Chacra Experimental Integrada Chascomús (MDA-INTA, 35º 44'38''S; 58º3´25''O), sobre un suelo *Argiudol típico* con una capacidad de uso IIIws (INTA, 2025). Se plantearon distintas alternativas de manejo utilizando el maíz como cultivo de verano en la rotación, estableciendo 3 tratamientos: (i) Maíz de primera sobre un barbecho largo (Mz1°); (ii) Maíz de segunda sobre antecesor colza (C/Mz) y (iii) Maíz de segunda sobre antecesor arveja (A/Mz). Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados (DBCA) con 3 repeticiones. Se trabajó en micro parcelas de 3,15 m de ancho por 8 m de largo (25m^2).
La primera fase del ensayo comenzó con la siembra de los cultivos de invierno (Tabla 1). El 13/05/25 se sembró la colza (híbrido Diamond: Nufarm) con una densidad de 6 Kg ha^{-1}. Posteriormente, se sembró la arveja (27/06/2025) (variedad Curlling: Bioseminis) con una densidad de 200 kg ha^{-1}. Ambas especies fueron fertilizadas a la siembra con 20 Kg ha^{-1} de P utilizando fosfato monoamónico (MAP). En colza, además, se fertilizó con 75 Kg ha^{-1} de N en forma de UREA. Todas las parcelas, incluso las no sembradas con cultivos invernales (Barbecho largo), se mantuvieron libres de malezas, plagas y enfermedades mediante controles químicos y/o mecánicos necesarios. Por último, se realizó la cosecha de la totalidad de cada parcela, la cual se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Fechas de siembra (FS); cosecha (FC) y rendimiento en grano (RG) de los cultivos de invierno que componen la rotación con maíz.

Cultivo invierno	**FS**	**FC**	**RG** (Kg ha^{-1})
colza	13-may	10-nov	3151
arveja	27-jun	4-dic	4419

La segunda fase del ensayo involucró la siembra de los cultivos de verano. En primer lugar, se realizó la siembra del Maíz de temprano sobre barbecho largo (Mz1°). La misma se realizó el día 8/10/25 a 50 cm entre hileras en forma manual con bastones, a razón de 3 semillas por sitio, con posterior raleo en el estadío de V_2, estableciendo una densidad final de 7,5 pl.m^{-2}. Al momento de la siembra se fertilizó con 20 Kg ha^{-1} de P utilizando fosfato monoamónico (FMA) en la línea de siembra y se registró la humedad del suelo hasta 2 m para calcular al agua útil inicial. Posteriormente, se realizaron las siembras de los maíces de segunda. El 25/11/25 y el 10/12/25 se realizaron las siembras sobre el antecesor colza (C/Mz) y el antecesor arveja (A/Mz), respectivamente. Ambos maíces fueron se sembrados de igual manera a lo descripto en el tratamiento (Mz1°), aunque la densidad establecida fue menor (6,5 pl m^{-2}). En todos los casos se utilizó el híbrido Brevant 8330 PWUE y se fertilizó con (i) 100 kgha^{-1} de N en el Mz1° y (ii) 100 Kg

kg ha^{-1} de N tanto en C/Mz y A/Mz, aplicados en forma de UREA en el estadío de V_4. Diariamente se registraron tanto las temperaturas máximas como las precipitaciones (Figura 1), mientras que semanalmente, se determinó la fenología y la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el canopeo (IPAR) (Figura 1).

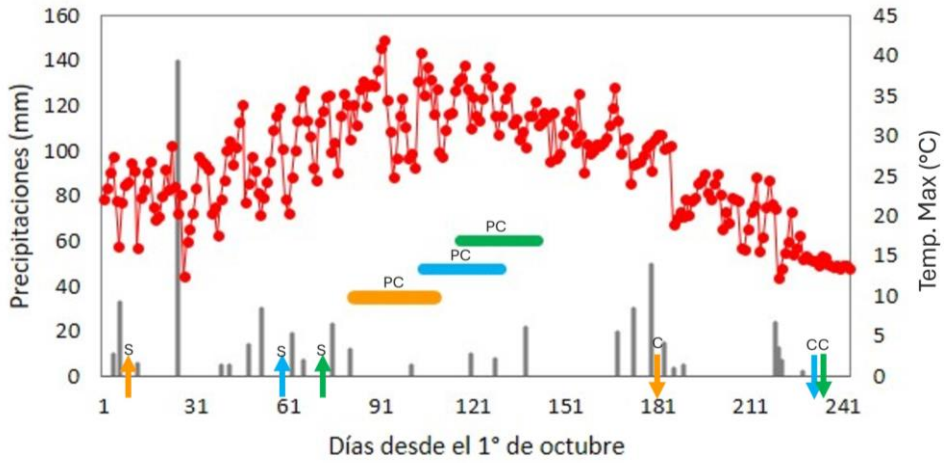

Figura 1: Temperatura máxima (línea roja) y precipitaciones (líneas verticales grises) registradas durante el ciclo de los cultivos de verano. Flechas de color indican fechas de siembra y cosecha; mientras que líneas horizontales de color indican los períodos críticos (PC) en cada tratamiento: Naranja; celeste y verde, corresponden a Mz°1; C/Mz y A/Mz, respectivamente.

Una vez alcanzado el estadío de R_6 (madurez fisiológica) se realizó la cosecha de los dos surcos centrales de cada parcela (8 m^2). Cada espiga fue secada hasta peso constante y luego desgranada para determinar los compones de rendimiento por unidad de superficie a humedad comercial (14,5%).

Se registró el contenido inicial de agua útil del perfil hasta los 2 m en cada uno de los cultivos y los eventos de precipitaciones en el lugar del estudio. La evapotranspiración de los cultivos (ETc) se estimó mediante un balance hídrico diario basado en la metodología propuesta por Allen et al. (2006). Para esto, la evapotranspiración de referencia (ET_o) se calculó mediante la ecuación FAO Penman–Monteith, utilizando datos diarios de temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento obtenidos de NASA POWER (power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/). La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calculó a partir de la evapotranspiración potencial (ET_0) y coeficientes de cultivo (Kc) específicos para arveja, colza y maíz, obtenidos de Pereira et al. (2021), mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = ET_0 \times Kc \qquad [Ec\ 1]$$

Los valores diarios de Kc se asignaron de acuerdo con la duración de las etapas fenológicas observadas a campo. Se asumió que la ETc fue máxima cuando la fracción de agua disponible para el cultivo en el perfil estuvo por arriba del 50% del límite mínimo (i.e: PMP), cuando la fracción de agua disponible para el cultivo fue menor al 50% la ETc fue menor a la potencial. En este análisis no se consideró la profundización de raíces. El balance hídrico se realizó desde la siembra hasta la madurez fisiológica, considerando el

agua útil inicial del suelo y las precipitaciones efectivas diarias registradas en cada sitio, calculadas con la metodología propuesta por el USDA (1976) y dejando así de lado del balance el agua que se estima escurrió. Dado que el agua medida hasta los 2 m nunca superó el límite de capacidad de campo, se asumió que no hubo presencia de napa cerca del perfil explorado por las raíces. No se consideraron pérdidas por drenaje profundo ya que nunca se alcanzó el límite máximo de almacenaje de agua útil del suelo. Con los datos de agua evapotranspirada así estimada y los rendimientos alcanzados se calculó la eficiencia de uso de agua (EUA) en kg/mm.

Por último, se calculó el rendimiento de equivalente glucosa (EG) de cada tratamiento para comparar sistemas de cultivo con diferente composición de grano. La composición del grano de varios cultivos de campo se ha descrito en muchos informes (Sinclair y de Wit, 1975; Watson y Ramstad, 1987; Gooding y Davies, 1997), permitiendo determinar el valor de equivalentes de glucosa por kg de grano de un tipo de cultivo dado. Los equivalentes de glucosa para granos de colza, arveja y maíz y soja se establecieron en 2,18, 1,26 y 1,32 kg equivalente glucosa por kg de grano, de peso seco, respectivamente. Los resultados fueron procesados por un análisis de varianza (ANVA) y la diferencia mínima entre medias de tratamientos mediante una prueba L.S.D, indicando diferencias mínimas significativas ($p<0,05$).

Resultados y discusión:

El maíz de 1°, fue sembrado a principios de octubre, fecha considerada como óptima para este cultivo en la región (Otegui y col, 1996). Esto permitió incrementar la captura de recursos durante la fase de crecimiento vegetativo y el período crítico (PC), donde (i) las precipitaciones S-R_2 triplicaron a las registradas en los tratamientos de segunda siembra, y (ii) el IPARpc fue significativamente mayor ($p=0,0074$, Tabla 2). En este tratamiento también se registraron los mayores valores de rendimiento en grano (RG) ($p<0,0001$), explicado tanto por el número de granos (NG) por unidad de superficie, como por el peso de esos granos (PG) (Tabla 3).

Tabla 2: Fecha de siembra (FS), fecha de cosecha (FC), precipitaciones (PP) registradas en el período siembra-R_2 y radiación la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el canopeo durante el período crítico (IPARpc).

Cultivo	Antecesor	FS	FC	PP S-R_2 (mm)	IPARpc (Mj m^{-2})
Maiz 1°	barbecho largo	8-oct	8-abr	267	278 a
Maiz 2°	colza	25-nov	16-may	85	169 b
Maiz 2°	arveja	10-dic	20-may	80	181 b
DMS					51,1
Valor P					0,0074

El retraso de la fecha de siembra en los maíces de segunda desplazó el PC (Figura 1), registrándose menores IPARpc y una marcada reducción en precipitaciones (Tabla 2). Se observó una asociación significativa entre el RG y IPARpc durante el período crítico

(R^2=0,847) (Figura 2). Sin embargo, con similares niveles de IPARpc, el tratamiento A/Mz registró mayores RG que el C/Mz (Tabla 2).

Tabla 3: Eficiencia de uso de agua (EUA), Rendimiento en grano (RG) a humedad comercial, número de granos (NG) por unidad de superficie, peso de grano (PG) y Eficiencia de uso de agua (EUA) para cada uno de los tratamientos.

Cultivo	Antecesor	RG	NG	PG	EUA
		(Kg ha^{-1})	(m^{-2})	(mg)	(Kg mm^{-1})
Maiz 1°	barbecho largo	10517 a	3617 a	291 a	19,6 a
Maiz 2°	colza	4831 c	2365 b	205 b	10,3 c
Maiz 2°	arveja	6371 b	2861 ab	224 b	13,8 b
DMS		1070	808,7	41,7	1,89
Valor P		0,0003	0,0308	0,102	0,0004

Las principales diferencias entre los tratamientos de segunda estuvieron dadas por la EUA (Tabla 3), donde el tratamiento A/Mz se destacó respecto a C/Mz. Esto puede ser atribuido a un efecto del antecesor en cuanto a disponibilidad de N. Al respecto, Enrico y col (2020), en la Argentina, determinaron que el cultivo de arveja puede aportar 45 Kg ha^{-1} de N mediante la fijación biológica de nitrógeno (FBN).

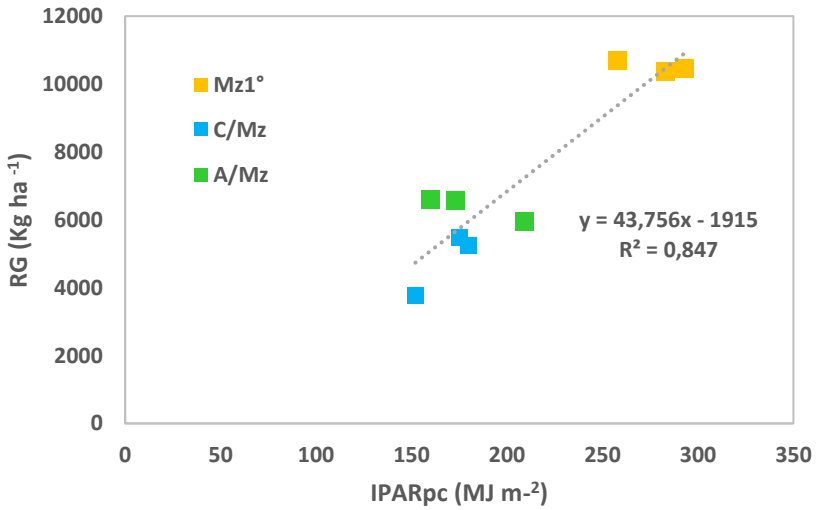

Figura 2: Rendimiento en grano (RG) en función del PAR interceptado durante el período crítico. Puntos naranjas indican Mz1°, puntos celestes indican C/Mz, mientras que puntos verdes indican A/Mz.

Por último, se cuantificó la eficiencia global de cada rotación expresada en equivalentes de glucosa (Tabla 4), no encontrándose diferencias significativas, lo que muestra que los cultivos de invierno, sin bien pueden condicionar el ambiente para el cultivo posterior, al menos permiten compensar la productividad total. En un trabajo reciente, Andrade y col (2025) para la zona núcleo de Argentina, reportaron que los sistemas de doble cultivo, sobre todo aquellos que incluyen maíz como alternativa estival, podían

incrementar tanto la productividad en EG de los sistemas, como la captura de recursos, y disminuir su variabilidad.

Tabla 4: Equivalente de glucosa (EG) por unidad de superficie para cada rotación

Rotación	**EG** (Kg. E G ha^{-1})
Mz1°	11939
C/Mz	11462
A/Mz	12243
DMS	NS
Valor P	0,4892

Conclusiones:

El Mz1° registró la mayor productividad entre los cultivos de verano, logrando mayor eficiencia en la captura de los recursos (i.e: radiación, agua) durante el ciclo. Sin embargo, la eficiencia global del uso de recursos expresada en EG no fue afectada por la rotación.

La utilización maíz de segunda en esquemas de doble cultivo es una opción viable dentro de la rotación en la Cuenca del Salado. Por un lado, aporta a la sustentabilidad del sistema, permite explorar ambientes de menor potencial y equilibra la utilización de recursos (radiación, agua) durante todo el año, disminuyendo la variabilidad. Por otro lado, otorga la posibilidad de aprovechar la rentabilidad ocasional de otras especies de "nicho" y nuevos mercados no tradicionales.

Dentro de las opciones de maíz de segunda, el antecesor arveja mejoró la EUA, permitiendo incrementos de aproximadamente 1500 kg ha^{-1} de RG respecto a colza, probablemente debido al aporte de N por parte de la leguminosa. Sin embargo, se necesitan más estudios o análisis para extender estos resultados a diferentes condiciones climáticas.

Bibliografía:

- Allen, R.G; Pereira, L.S; Raes, D; Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma FAO, 298 (0).
- Andrade J.A.; Poggio S.L., Ermácora M., Satorre E.H. (2017a) Land use intesification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crops sequenses to increase yields and resourse use. European Journal of Agronomy 82: 1-10.
- Andrade J.A.; Poggio S.L., Ermácora M., Satorre E.H. (2025). Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. European Journal of Agronomy 67: 37:51.
- Di Matteo J.; Ferreyra J.M.; Cerrudo A.A.; Echarte L.; Andrade F.H. (2016). Yield potencial and yield stability of Argentine Maize hybrids over 45 years of breeding. Field Crops Research 197: 107-116.
- Enrico M.J., Piccinetti C.F., Barraco M.R., Agosti M.B., Eclesia R.P., Salvagiotti F. (2020). Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean región. European Journal of Agronomy 115: 126016.
- Gooding, M.J., Davies, W.P. (1997). Wheat Production and Utilization: Systems, Quality and the Environment. Cab International, 355 pp.Sinclair, T., de Wit, C.T., 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops Science 189: 565–567.
- Maddonni G.A.; Parco M.; Rotilli D.H. (2021). Manejo de la estructura del cultivo de maíz en ambientes marginales de Argentina. Agronomía & Ambiente, Revista de la Facultad de Agronomía UBA, 41 (2): 84-99.
- Schulz G.; Tenti Vuegen L.M. (2025). Cartas de suelos de la Provincia de Buenos Aires - Escala 1:50.000. Versión 2.0. Repositorio Digital Institucional INTA. http://hdl.handle.net/20.500.12123/24564.
- Otegui M.E.; Ruiz A.R.; Petruzzi D. (1996). Modelling hybrid and sowing date effects on potential grain field of maize in a humid temperate región. Field Crops Research 47: 167-174.
- Pereira, L.S; Paredes, P; Hunsaker, D.L; López-Urrea, R; Jovanovic, N. (2021). Standard single and dual crop coefficients for vegetavles crops, legumes and oil crops. Agricultural Water Managements, 243, 106466.
- Sinclair, T., de Wit, C.T. (1975). Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. Science 189: 565–567.
- USDA. (1967). Irrigation water requeriments. Tech. Release N° 21. United States Dept. of Agr., Soil Manage. 59: 67-75.
- Watson S.A.; Ramstad P.E. (1987). Structure and composition. In: Watson, S.A., Ramstad, P.E. (Eds.), Corn: Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA, 53–82.