

A photograph of a cornfield at sunset, with the sky and clouds in shades of orange and yellow. The corn plants are in the foreground, and a line of trees is visible in the distance.

# Seamaíz

**XI Congreso Nacional de Maíz**

**MANEJO DEL CULTIVO,  
FERTILIDAD Y USOS**



## VARIACIÓN EN LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE MAÍZ SEGÚN AMBIENTES: PERGAMINO (BA) VS VILLA MERCEDES (SL)

---

Riglos, M. M.<sup>1</sup>; Mayer, L. I.<sup>2</sup>; Cirilo, A.<sup>3</sup>; Mercau, J. L.<sup>4</sup> y Otegui, M.E.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> CONICET-INTA, EEA-Villa Mercedes, San Luis. maxi\_riglos@hotmail.com

<sup>2</sup> EEA-Villa Mercedes, San Luis.

<sup>3</sup> INTA, EEA-Pergamino, Buenos Aires.

<sup>4</sup> Agencia De Extensión Rural, INTA San Luis.

<sup>5</sup> CONICET-INTA, EEA-Pergamino. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

---

### VARIATION IN MAIZE WATER USE EFFICIENCY DEPENDING ON THE ENVIRONMENTS: PERGAMINO (BA) VS VILLA MERCEDES (SL)

#### ABSTRACT

Maize grain yield is severely affected by water deficit, which increases from East (Eastern Pampas) to West (semi-arid region) in the mid-latitude environments of Argentina. The objective of this work was to analyze maize water productivity in these contrasting environments. Field experiments were conducted under rainfed farming during two growing seasons at two sites, one humid (PGO: Pergamino) and one semi-arid (VM: Villa Mercedes). Two sowing dates (early and late) were also evaluated at each site. Measurements included total shoot biomass (BT, in  $\text{g m}^{-2}$ ) and crop evapotranspiration ( $\text{ET}_C$ , in mm) evolutions. Transpired ( $\text{WUE}_{B,T}$ ) and evapotranspired ( $\text{WUE}_{B,ETC}$ ) water use efficiencies (in  $\text{g m}^{-2}\text{mm}^{-1}$ ) were estimated. BT was always larger at PGO ( $2602 \text{ g m}^{-2}$ ) than at VM ( $1602 \text{ g m}^{-2}$ ), but  $\text{ET}_C$  followed the opposite trend ( $435$  and  $489 \text{ mm}$ ). Consequently, WUEs were always larger at PGO ( $5.99$  and  $8.45 \text{ g m}^{-2}\text{mm}^{-1}$  for  $\text{WUE}_{B,ETC}$  and  $\text{WUE}_{B,T}$ , respectively) than at VM ( $3.33$  and  $5.44 \text{ g m}^{-2}\text{mm}^{-1}$ , respectively). Sowing date had no effect on  $\text{WUE}_{B,T}$  in the humid environment of PGO, but delayed sowing had a significant ( $P < 0.001$ ) positive effect in the semi-arid condition of VM (increased  $\text{WUE}_{B,T}$  from  $4.20$  to  $6.88 \text{ g m}^{-2}\text{mm}^{-1}$ ).

#### Palabras Clave

*Zea mays* L, Productividad hídrica, Eficiencia en el uso del agua.

#### Key Words

*Zea mays* L, Water productivity, Water use efficiency.

## INTRODUCCIÓN

El rendimiento promedio nacional de maíz se ha mantenido prácticamente invariable durante la última década (ca. 6660 kg ha<sup>-1</sup>; MinAgri, 2018). Sin embargo, la producción anual de maíz argentino creció de 20 a 33 mill T. Este incremento productivo respondió al aumento en la superficie cultivada (de 3 a 5 mill ha, aproximadamente), motivado por la expansión de la frontera agrícola hacia áreas consideradas marginales o frágiles y la sustitución de cultivos invernales por estivales (*estivalización*; Viglizzo, 2007). La relación de precios favorables para los granos y sus derivados (Lanteri, 2009), la intensa adopción de tecnologías (Satorre *et al.*, 2011) y el incremento en las precipitaciones primavera-estivales, especialmente hacia el oeste del país (Minetti *et al.*, 2003), propiciaron estos cambios. Consecuentemente, la agricultura de secano se ha difundido hacia zonas extra-pampeanas como la región semiárida central de Argentina. En ella es más probable la incidencia de factores abióticos que limitan o reducen la productividad de los cultivos, tales como el golpe de calor (días con temperatu-

ras >35°C) y la sequía (Maddoni, 2012; Rattalino Edreira, 2013). La provincia de San Luis pertenece a la región semiárida central, y en ella la superficie sembrada con maíz creció seis veces en la última década (de 82300 a 453000 ha).

El rendimiento de maíz sufre disminuciones importantes en escenarios de restricción hídrica, asociadas a su baja plasticidad reproductiva (Andrade y Sadras, 2000). Esta situación se ve agravada con la disminución del régimen pluviométrico anual (SMN, 2018), que se verifica al alejarnos de la zona núcleo maicera pampeana (e.g. 1100 mm en Pergamino, Buenos Aires) hacia el oeste (e.g. 600 mm en Villa Mercedes, San Luis). En consecuencia, la eficiencia de uso del agua (EUA) es un aspecto crítico en la determinación de la productividad del cultivo en ambientes hídricos restrictivos (Dardanelli *et al.*, 2003). El objetivo de este trabajo es evaluar comparativamente las EUAs de cultivos de maíz sembrados en Pergamino y Villa Mercedes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron experimentos a campo en Pergamino (PGO, 33° 56' S, 60° 33' O) y en Villa Mercedes (VM, 33° 66' S, 65° 40' O) durante dos campañas (AÑO 1: 2016-2017 y AÑO 2: 2017-2018). Se utilizó el híbrido DK72-10 VT3P en dos fechas de siembra (FS1: temprana de Octubre-principio de Noviembre; FS2: tardía de fin de Noviembre-principio de Diciembre) en condiciones de secano. Se empleó la densidad de siembra recomendada para cada localidad (8 y 5,7 plantas m<sup>-2</sup> en PGO y VM, respectivamente) en hileras distanciadas a 0,52 m. Se aseguraron condiciones nutricionales no limitantes y adecuado control de malezas, plagas y enfermedades.

Se efectuaron las siguientes mediciones:

- Contenido hídrico (CH) por horizontes del perfil del suelo (0-200 cm), de forma gravimétrica (VM) o gravimétrica (0-30 cm) +

sonda de neutrones (PGO) a lo largo del ciclo del cultivo.

- Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>C</sub>, mm): se calculó la diferencia entre el contenido hídrico del perfil de suelo hasta 2 m entre mediciones sucesivas de CH, sumada a las lluvias registradas entre dichos eventos. Los valores se fueron acumulando a lo largo del ciclo.

- Producción de biomasa aérea total del cultivo (BT, en g m<sup>-2</sup>): a través de muestreos destructivos para determinar su evolución en forma acumulada.

- EUA evapotranspirada para producir BT (EUA<sub>B,ETC</sub>, g m<sup>-2</sup>mm<sup>-1</sup>): se calculó como el cociente entre BT y ET<sub>C</sub>.

- EUA transpirada para producir biomasa (EUA<sub>B,T</sub>, g m<sup>-2</sup>mm<sup>-1</sup>): se calculó como la pendiente de la relación entre los valores acumulados de BT y la ET<sub>C</sub> obtenidos a lo largo del ciclo para condiciones de buena cobertura del suelo.

• Evaporación del suelo ( $E_s$ , mm): se obtuvo como la abscisa al origen a partir de la ecuación  $BT = f(ET_c)$ .

• Transpiración del cultivo ( $T$ , mm): se obtuvo como la diferencia entre la  $ET_c$  total acumulada y la  $E_s$  estimada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ambos ciclos experimentales fueron clasificados como fases La Niña del fenómeno ENSO (El Niño *Southern Oscillation*), aunque la intensidad de la fase fue mayor en el segundo que en el primer ciclo (www.cpc.ncep.noaa.gov). Esta fase implica condiciones de deficiencia hídrica para la región sur de Sudamérica, que en Argentina se intensifican de sur a norte y de este a oeste (Dardanelli *et al.*, 2003). Las condiciones ambientales afectaron la productividad de los cultivos (Tabla 1), dando lugar a mayores niveles de BT el AÑO 1 (2312 g m<sup>-2</sup>, promedio a través de todos los sitios y FSs) que el AÑO 2 (1892 g m<sup>-2</sup>), en coincidencia con el mayor nivel de lluvias (datos no mostrados). El consumo de agua siguió la misma tendencia, con 495 mm el AÑO 1 y 429 el AÑO 2.

del AÑO 1 y el AÑO 2, respectivamente) respecto de VM (1810 y 1393 g m<sup>-2</sup>). Contrariamente, los valores de  $ET_c$  fueron mayores en VM (516 y 463 mm, promedios del AÑO 1 y el AÑO 2, respectivamente) respecto de PGO (475 y 396 mm). Por consecuencia, las  $EUA_{B,ET}$  calculadas para todo el ciclo resultaron inferiores en VM (Tabla 1). Por su parte, comparando ambas fechas de siembra, los valores de BT fueron semejantes para PGO (2537 y 2666 g m<sup>-2</sup> para FS1 y FS2, respectivamente), pero diferentes para VM (1498 y 1705 g m<sup>-2</sup>). Del mismo modo, los valores de  $ET_c$  fueron similares en ambas fechas de siembra en PGO (422 mm en FS1 y 449 mm en FS2, promedio a través de años), pero diferentes en VM (545 y 433 mm).

Los valores de BT fueron siempre superiores en PGO (2813 y 2391 g m<sup>-2</sup>, promedios

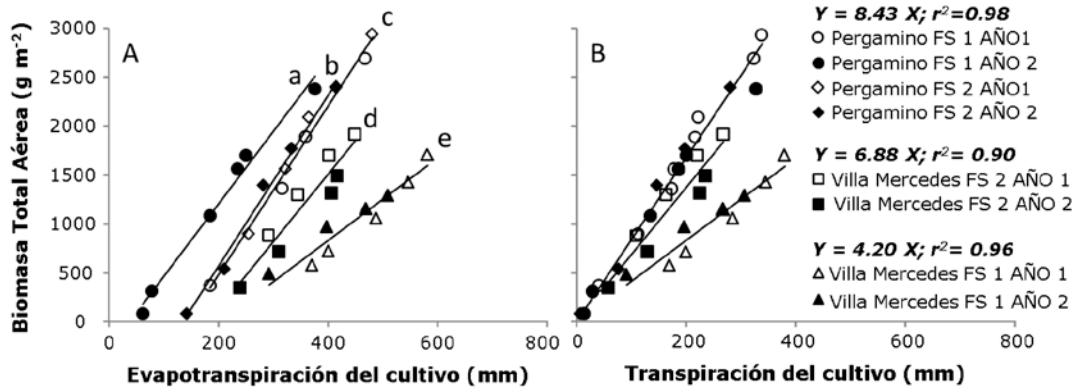
Variable	Unidades	VILLA MERCEDES				PERGAMINO			
		AÑO 1 FS 1	AÑO 1 FS 2	AÑO 2 FS 1	AÑO 2 FS 2	AÑO 1 FS 1	AÑO 1 FS 2	AÑO 2 FS 1	AÑO 2 FS 2
BT	g m <sup>-2</sup>	1706	1915	1291	1495	2692	2933	2382	2400
$EUA_{B,ETc}$	g m <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup>	2.93	4.26	2.54	3.58	5.76	6.09	6.34	5.77
$EUA_{B,T}$	g m <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup>	5.17	6.62	3.68	6.29	8.63	8.97	7.42	8.76
$ET_c$	mm	582	450	509	417	467	482	376	416
$E_s$	mm	263	153	153	190	144	148	38	136
T	mm	318	297	356	227	323	334	338	280
$E_s/ET_c$	%	45	34	30	45	31	31	10	33
$T/ET_c$	%	55	66	70	55	69	69	90	67

FS, fecha de siembra; BT, Biomasa total aérea a madurez;  $EUA_{B,ETc}$ , eficiencia para producir biomasa en el uso del agua evapotranspirada;  $EUA_{B,T}$ , eficiencia para producir biomasa en el uso del agua transpirada;  $ET_c$ , evapotranspiración del cultivo;  $E_s$ , evaporación del suelo; T, transpiración.

**Tabla 1.** Valores promedio de las variables medidas en los diferentes ambientes evaluados.

Existió una estrecha relación entre la BT y los valores de  $ET_c$  y T en todos los ambientes evaluados (Figura 1). A partir de esta relación se estimaron los valores de  $E_s$  (Tabla 1), los cuales fueron siempre mayores en VM respecto de PGO (190 mm y 116 mm, promedio general). Los valores de T, en cambio, no difirieron sustancialmente entre localidades (300 mm vs 319 mm, promedio

general). En promedio a través de años y FSs, las  $EUA_{B,T}$  calculadas fueron siempre menores en VM (5,44 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>; Figura 1 y Tabla 1) que en PGO (8,45 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>). Los resultados obtenidos muestran diferencias en la partición de la  $ET_c$ , siendo mayor la componente evaporativa (Tabla 1) en VM (39%, promedio general) que en PGO (27%).



**Figura 1.** Respuesta de la biomasa total aérea a (A) la evapotranspiración del cultivo, y (B) la transpiración del cultivo. FS: fecha de siembra. Todos los modelos ajustados resultaron significativos ( $P < 0.001$ ). Las ecuaciones para (A) fueron: (a)  $Y = -280 + 7.42 X$ ; (b)  $Y = -1190 + 8.76 X$ ; (c)  $Y = -1246 + 8.63 X$ ; (d)  $Y = -1254 + 6.88 X$ ; (e)  $Y = -852 + 6.21 X$ .

Los resultados confirman las tendencias entre ambientes y fechas de siembra propuestas por Dardanelli *et al.* (2003) en cuanto a los efectos de variables climáticas (e.g., déficit de presión de vapor) sobre las EUAs. Condiciones de mayor aridez como las de VM se espera que resulten en menor EUA, reduciendo la produc-

tividad de cada milímetro de agua utilizado por el cultivo (Abbate *et al.*, 2004). En cuanto a la fecha de siembra, su retraso permite ubicar el ciclo de crecimiento del maíz en momentos de menor riesgo de estrés ambiental (Mercau y Otegui, 2014), efecto que se magnifica en ambientes más áridos.

## CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos enfatizan la importancia del ambiente sobre la productividad del agua, particularmente en aquellos caracterizados por altas demandas evaporativas y mayor ocurrencia de deficiencias hídricas. Así, cambios en la fecha de siembra tuvieron un efecto proporcionalmente menor sobre las EUAs en el ambiente húmedo (PGO) que en el semiárido (VM). En el primero, aparentemente, las variaciones en la demanda evaporativa afectarían a los cultivos en diferentes períodos del ciclo según la fecha de siembra (e.g., mayor incidencia en prefloración para siembras tardías y en postfloración para siembras tempranas), que llevarían a una compensación y consecuente mayor estabilidad en la  $EUA_{B,T}$ . Estas compensaciones no existirían en el ambiente semiárido (VM), siendo las condiciones de las siembras tempranas de maíz mucho menos aptas para el crecimiento del cultivo y la productividad del agua.

## Referencias

ABBATE, P. E., DARDANELLI, J. L., CANTARERO, M. G., MATURANO, M., MELCHIORI, R. J. M., & SUERO, E. E. (2004). *Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat*. *Crop Science*, 44(2), 474-483.

ANDRADE, F.H. y SADRAS, V.O. 2000. *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2000 - 443 pp.

DARDANELLI, J.; COLLINO, D.; OTEGUI, M y SADRAS, V. 2003. *Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano*. En: Satorre, E; Benech Arnold, R; Slafer, G; De la Fuente, E; Miralles, D ; Otegui, M; Savin R.(eds.) *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. pp. 377-442.

FAO. FAOSTAT. *Food and agriculture organization of the United Nations*. Statics Division. 2015 22 Oct 2014 [cited 2016 05/09/16]; Available from: <http://faostat3.fao.org/>.

LANTERI, L. 2009. *Respuesta a precios del área sembrada de soja en la Argentina*. Documentos de Trabajo 2009, 46. Banco Central de la República Argentina ie, Investigaciones Económicas, ISSN 1850-3977.

MADDONNI, G.A., 2012. *Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina, a probabilistic approach*. Theor. Appl. Clim. 107,325–345.

MERCAU, J.L. y OTEGUI, M.E. 2014. *A modeling approach to explore water management strategies for late-sown maize and double-cropped wheat-maize in the rain-fed Pampas region of Argentina*. In: Lajpat Ahuja, Liwang Ma, and Robert Lascano (Eds), 'Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water'. ASA-CSSA-SSSA, Baltimore, EEUU. pp. 351-374.

MINAGRI, 2018. *Ministerio de Agroindustria*. Presidencia de la Nación. Datos Abiertos Agroindustria; Available from: <https://www.argentina.gob.ar/agroindustria>

MINETTI J. L.; VARGAS, W. M.; POBLETE, A. G., ACUÑA; L. R., y CASAGRANDE; G. (2003) *Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999*. *Atmósfera* 16, 119-135.

RATTALINO EDREIRA, J.I., *Estrés por golpe de calor en maíz: Diferencias en las respuestas ecofisiológicas entre genotipos templados y tropicales*, 2013, Universidad de Buenos Aires: Buenos Aires. p. 138.

SATORRE, E. 2011. *Recent changes in pampean agriculture: possible new avenues in coping with global change challenges*. *Crop Stress Management and Global Climate Change* 2, 47.

SMN. *Servicio Meteorológico Nacional. Ministerio de defensa Presidencia de la Nacional*. Available from: [www.smn.gob.ar](http://www.smn.gob.ar)

VIGLIZZO E, 2007. *Producción agropecuaria y medio ambiente. Propuestas compartidas para sustentabilidad*. ISBN978-950-9427-17-4. Fundación Vida Silvestre, Argentina, 55pp.