



**MAÍZIFICANDO
CONCIENCIA**
XII CONGRESO NACIONAL DE MAÍZ

Eje

Ecofisiología y manejo del cultivo

8, 9 y 10 de Noviembre
Pergamino, BA
UNNOBA



Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Ministerio de Economía
Argentina

2022





EFECTO DEL MACOLLAJE SOBRE LA INTERCEPCIÓN DE RADIACION Y EVAPOTRANSPIACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN BAJA DENSIDAD

Massigoge, I ^a; **Echarte, L ^{ab};** **Ross, F ^c;** **Cerrudo, A ^{ab}.**

a Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Argentina.

b IPADS (INTA-CONICET), Balcarce, Argentina.

c Estación Experimental Agropecuaria Integrada de Barrow (INTA-MAA), Tres Arroyos, Argentina.

ignaciomassigoge@gmail.com; echarte.laura@inta.gob.ar; ross.fernando@inta.gob.ar; cerrudo.anibal@inta.gob.ar

EFFECT OF TILLERING ON INTERCEPTED RADIATION AND EVAPOTRANSPIRATION IN LOW-DENSITY MAIZE CROP

Abstract

Low plant density, a management practice commonly used in maize crops under restrictive and variable environments (at spatial and temporal levels), may promote tiller appearance on specific genotypes. The main objectives of this work were (i) to estimate the effect of tillering on radiation interception and evapotranspiration (ET) in low-density crops and, (ii) to evaluate the relationships between intercepted radiation, either by variations in plant density or in the number of tillers, and ET. Two field experiments were carried out in the EEA Balcarce, Argentina, under dryland conditions with tillered treatments varying the number of tillers per plant (1-4 tillers.pl⁻¹) and non-tillered treatments (V8 stage) varying plant density (2-6 pl.m⁻²). The presence of tillers at low plant density (2 pl.m⁻²) did not increase ET before or during the critical period compared to non-tillered treatment. However, the tillered treatment showed a higher ET during the crop cycle, which was explained by differences in water consumption after the critical period. Finally, a unique model explained the relationship between increases in intercepted radiation, either due to variations in plant density or the number of tillers per plant, and ET.

Palabras claves

Evapotranspiración, intercepción de radiación, ambientes restrictivos

Keywords

Evapotranspiration, intercepted radiation, restrictive environments



Introducción

En el sudoeste de la región pampeana, los agricultores están actualmente implementando una densidad de plantas que varía de 2 a 3 pl.m⁻² (Rotili et al., 2019) dependiendo del nivel de limitación ambiental. El objetivo de esta estrategia es conservar agua durante estadios vegetativos tempranos, con miras a aumentar la transpiración por planta durante el estadio reproductivo (Rotili et al., 2019) mejorando así el estado fisiológico de las mismas durante el período crítico (P.C.) para la fijación de granos (Denmead and Shaw, 1960; Çakir, 2004) y llenado de los mismos. La importancia del estado fisiológico en este período, centrado en la floración, radica en la estrecha y positiva relación entre la tasa de crecimiento por planta (TCP_{pc}) y el número de granos fijados por planta, principal componente de rendimiento (Tollenaar et al., 1992; Andrade et al., 1999).

Una de las consecuencias de esta práctica de baja densidad es la inducción del macollaje (i.e., vástagos secundarios típicos en gramíneas; Ford & Hicks, 1992; Rotili & Maddonni, 2016; Sangoi et al., 2009; Sangoi & Salvador, 1998; Tetio-Kagho & Gardner, 1988). En estos ambientes, los macollos podrían traer aparejados efectos negativos, al incrementar la radiación interceptada en la etapa vegetativa y promover un mayor consumo hídrico debido a una mayor transpiración resultando en un incremento en la ET. De esta manera, se reduciría el agua disponible al inicio de la etapa crítica (200 °Cd previos a R1; Cerrudo et al., 2013) pudiendo limitar el consumo de agua en el período crítico y resultar en un deterioro del estado fisiológico y consecuentemente en el número de granos.

El efecto de los macollos sobre la economía del agua en planteos de baja densidad ha sido estudiado por medio de modelos de simulación (APSIM Sorghum Model) para sitios de Argentina y Australia (Rotili et al., 2021). En este trabajo se demostró que la presencia de macollos podría aumentar el consumo de agua durante la etapa vegetativa dependiendo del régimen hídrico. Sin embargo, no se ha medido hasta ahora, el efecto de los macollos sobre la dinámica del agua en cultivos reales.

Por otro lado, en maíz, las relaciones entre cobertura del cultivo y consumo de agua han sido estudiadas para variaciones en densidad (Blum, 1970; Ritchie and Burnett, 1971; Hernández et al., 2020), pero no así para cultivos con presencia de macollos. En trigo (*Triticum aestivum* L.) se ha demostrado que aumentos de cobertura por densidad de plantas o número de macollos por planta tienen el mismo efecto sobre la ET del cultivo (Ryhiner and Matsuda, 1978; Richards and Townley-Smith, 1987). Por lo tanto, es necesario evaluar a campo el potencial efecto del macollaje sobre el consumo de agua en el cultivo de maíz.

Los objetivos de este trabajo fueron (i) estimar el efecto del macollaje sobre la interceptación de radiación y la evapotranspiración en cultivos con baja densidad de siembra y, (ii) evaluar las relaciones entre interceptación de radiación, dado por variaciones en densidad o en el número de macollos, y evapotranspiración.

Materiales y Métodos

Se realizaron dos experimentos en condiciones de secano en el campo de la Unidad Integrada Balcarce (Balcarce, Buenos Aires, Argentina; 37° 45' S 58° 18' O, 130 msnm) durante la campaña 2019/20. El primer experimento consistió en dos tratamientos sobre plantas: (i) con (macollado) y (ii) sin macollos (desmacollado) a una misma densidad de siembra (2 pl.m⁻²), bajo un diseño en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. El segundo experimento consistió en: (i) 4 densidades



de plantas desmacolladas 2, 3, 4, y 6 pl.m⁻² y (ii) diferente cantidad de macollos por planta sobre una única densidad (2 pl.m⁻²) con 0, +1, +2, +3 macollos. En todos los casos, la remoción de macollos se realizó en el estadio V8. Cada unidad experimental tuvo un tamaño de 3,64 metros de ancho (7 surcos espaciados a 0,52 m) y 10 metros de largo.

El cultivo de maíz se sembró el 25 de octubre de 2019, sobre antecesor maíz y con dos labranzas de rastra de discos en el período de barbecho. Se utilizó el híbrido de maíz AX 7784 (Nidera Argentina). La siembra se realizó en forma manual con 3 semillas por golpe y se raleó al estado de V2. La distancia entre surcos fue de 0,52 m.

Se realizó una fertilización inicial a la siembra que consistió en 200 Kg ha⁻¹ de Nitrocomplex ZAR (YARA Argentina 21-17-3 + 1% MgO + 5% S + 0,1% Zn). La fertilización nitrogenada (Nitrodoble YARA Argentina 27-0-0 + 6% CaO + 4% Mg) se realizó fraccionada en 3 dosis de 200 Kg ha⁻¹ cada una, en el estado de V2, V8 y R2, con el objetivo de alcanzar la suficiencia de este nutriente. Las dosis y momentos de fertilización fueron únicas para todos los tratamientos.

Las malezas fueron controladas manual y químicamente mediante la aplicación de glifosato al 72 % + Sempra (Halosulfuron al 75 %) en dos momentos, glifosato al 72% y atrazina al 90%, en otro momento y glifosato al 72% en otro momento.

La información meteorológica correspondiente al período de experimentación fue tomada de la estación meteorológica de la EEA INTA Balcarce, ubicada a 500 metros del sitio experimental. La precipitación del periodo de experimentación fueron comparadas con los registros históricos de los últimos 30 años (1989-2018).

El tipo de suelo donde se realizó el ensayo es un argiudol típico serie Mar del Plata (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 1980) con profundidad efectiva 1,9 m y capacidad de almacenaje de agua útil de 170 mm m⁻¹. Los límites máximos (L_{max}) y mínimos (L_{min}) de almacenaje de agua en el sitio del ensayo han sido determinados previamente (Nagore et al., 2014), siendo estos valores de 511 y 279 mm, respectivamente.

La radiación fotosintéticamente activa interceptada el cultivo (RFA_i) se registró con un radiómetro lineal CAVADEVICES, entre las 11:00 y las 14:00 hs, en días diáfanos. Para poder utilizar ese horario de medición, se realizaron mediciones en un amplio rango de horarios a lo largo del día, cuyos resultados indicaron que entre las 11:00 y las 14:00 hs, los valores obtenidos de RFA_i no diferían.

El porcentaje de RFA_i en cada momento de medición se obtuvo mediante la ecuación:

$$\text{RFA}_i (\%) = 100 - (\text{RFA}_1 / \text{RFA}_0) * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

donde RFA₁ y RFA₀ representan a la RFA medida por debajo al ras del suelo y por encima del canopeo, respectivamente. Para ello se midió la radiación que llegaba sobre el cultivo (I₀), colocando el sensor por encima del mismo, y la radiación que lo atravesaba (I₁), colocando el sensor debajo del dosel en 3 posiciones diferentes, repitiendo esto dos veces por tratamiento en cada momento de medición. Para esta última determinación, el valor para cada parcela fue la media de los 6 valores obtenidos en cada momento. Las mediciones de RFA_i se obtuvieron desde los 43 días desde emergencia (DDE) hasta los 122 DDE, con una frecuencia de una vez por semana.



Para los días en los que no se realizaron mediciones de radiación interceptada, esta se interpoló linealmente en función del tiempo calendario, entre dos mediciones sucesivas (Abbate et al., 1995). La radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) se calculó como el producto entre el porcentaje de intercepción diario ($\text{RI}\%$) y la radiación fotosintéticamente activa incidente diaria ($\text{RFA} = 0,48 \times \text{radiación global}$; Gosse et al., 1986).

La humedad del suelo se midió en períodos variables en cuanto a cantidad de días, desde el día de emergencia (03/11/2019) hasta los 128 días desde la misma (10/03/2020). Se realizó mediante una combinación del método gravimétrico (0-10 cm de profundidad) y el método de atenuación de neutrones (10-190 cm), realizando mediciones cada 20 cm de profundidad. Se empleó un equipo Troxler, modelo 4300 (Troxler Electronic Laboratory, Inc, USA). Las mediciones fueron realizadas a una distancia de $\frac{1}{4}$ del ancho del entresurco, en los 2 surcos centrales de cada parcela.

Los datos de humedad del suelo obtenidos con sonda de neutrones se expresaron en humedad volumétrica de acuerdo a la ecuación de calibración propuesta por Suero & Travasso, (1988).

La evapotranspiración (ET) del cultivo se calculó para cada intervalo de medición de humedad de suelo. La misma fue determinada considerando la diferencia de almacenaje ocurrida entre dos fechas consecutivas en cada tubo de medición (ΔA , mm), la precipitación (P_p , mm) y el drenaje (D_r) según la siguiente expresión:

$$\text{ET (mm)} = P_p \pm \Delta A - D_r \quad (\text{Ec. 2})$$

El drenaje (D_r) se calculó como la lámina de agua excedente al L_{max} en 1,9 m de profundidad.

La evapotranspiración por períodos (pre-P.C., P.C. y post-P.C.) y total, se calculó como la suma de las ET de los días correspondientes a cada uno.

Los datos correspondientes a radiación interceptada y ET fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico R (R Core Team, 2021). La comparación de medias fue realizada a través del test HSD Tukey, empleando un nivel de confianza de 95% ($\alpha = 0.05$)

Por otro lado, los datos correspondientes a la relación entre radiación interceptada y ET fueron modelados mediante regresión lineal utilizando el paquete estadístico R (R Core Team, 2021). Las pendientes de los modelos fueron testeadas por medio de un test-t (Steel and Torrie, 1960).

Resultados

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (436 mm) fueron similares a la media histórica (430 mm). En los meses de desarrollo vegetativo (noviembre y diciembre), las precipitaciones fueron un 38% menores a la misma (103 y 165 mm, respectivamente). Esta situación se revirtió durante los meses de desarrollo reproductivo, siendo las precipitaciones un 26 % superiores para la campaña en estudio (333 y 265 mm, respectivamente).

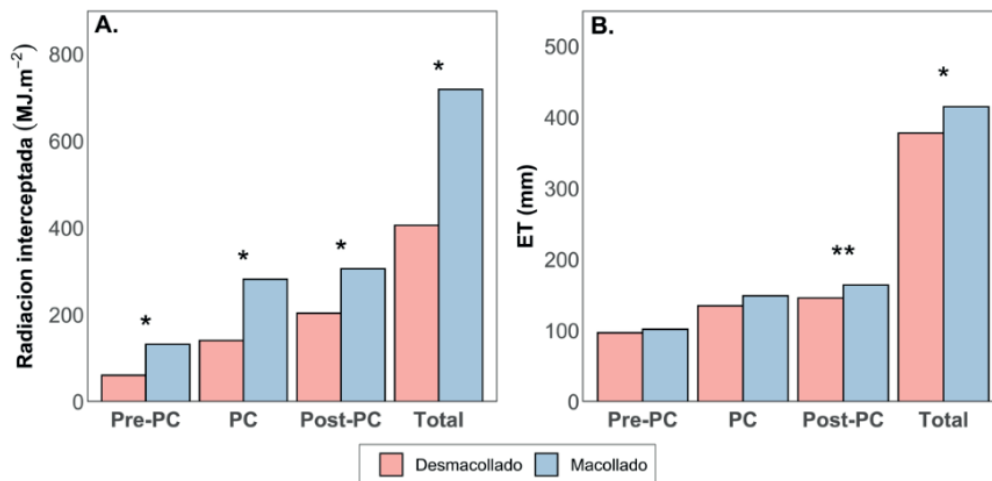


Figura 1. Radiación interceptada ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$; A) y evapotranspiración (ET; mm ; B) durante los períodos pre-período crítico (pre-PC), período crítico (PC), post-período crítico (post-PC) y acumulado durante el ciclo del cultivo (total) para los tratamientos de $2 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ desmacollado (barras rosas) y macollado (barras azules). **, *, significativo a un nivel de 0,01 y 0,05, respectivamente

El tratamiento de $2 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ desmacollado interceptó un 44% menos de radiación durante el período total de medición con respecto al tratamiento macollado (3-4 macollos pl^{-1}). Adicionalmente, el tratamiento de $2 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ desmacollado interceptó un 54, 50 y 33 % menos de radiación que el tratamiento de macollado para los períodos pre P.C. (i.e., $200 \text{ }^\circ\text{Cd}$ antes R1), P.C. (i.e., $200 \text{ }^\circ\text{Cd}$ antes R1 hasta $250 \text{ }^\circ\text{Cd}$ después de R1) y post P.C. (i.e., $250 \text{ }^\circ\text{Cd}$ luego de R1 -128 DDE), respectivamente (Figura 1A).

A lo largo del ciclo del cultivo, el tratamiento macollado evapotranspiró significativamente más que el tratamiento desmacollado (Figura 1B). No se detectaron diferencias significativas en evapotranspiración hasta el comienzo del período crítico (i.e., $200 \text{ }^\circ\text{C}$ antes de R1) ni durante el transcurso del mismo (i.e., $200 \text{ }^\circ\text{Cd}$ antes R1 hasta $250 \text{ }^\circ\text{Cd}$ después de R1). Sin embargo, para el período posterior (i.e., $250 \text{ }^\circ\text{Cd}$ luego de R1 -128 DDE), el tratamiento macollado evapotranspiró significativamente más que el tratamiento desmacollado; atribuido principalmente a una significativamente mayor ET en el período de 110-128 DDE ($p \leq 0.05$; Figura 1B).

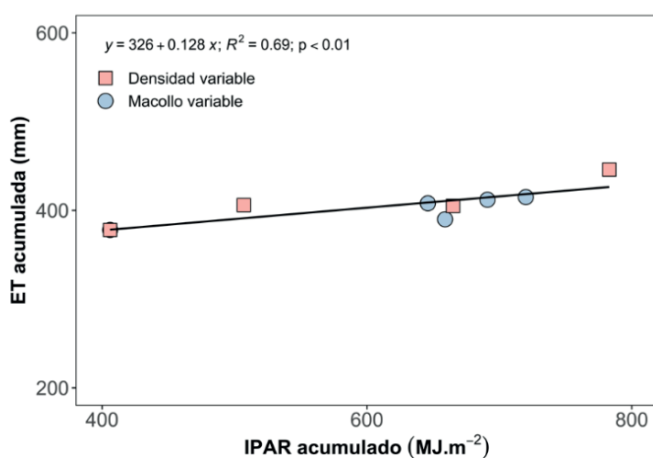


Figura 2. Evapotranspiración (ET; mm) acumulada en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (IPAR; $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) para tratamientos de densidad variable (2, 3, 4 y $6 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$; cuadrados rosas) y número de macollos por planta variable (0, 1, 2, 3, y +3 macollos. pl^{-1} ; círculos azules). La ecuación ajustada a los datos, coeficiente de determinación (R^2) y nivel de significancia se encuentran representadas.

La relación entre la evapotranspiración acumulada y la interceptación de radiación fotosintéticamente activa acumulada en todo el período de medición (1-128 DDE), no difirió para tratamientos con densidad variable, y número de macollos por planta variable ($p < 0,01$; Figura 2).



Discusión

Una de las consecuencias de disminuir la densidad, es la inducción al macollaje (Tetio-Kagho and Gardner, 1988; Ford and Hicks, 1992; Sangoi and Salvador, 1998; Sangoi et al., 2009; Rotili and Maddonni, 2016), que como fue demostrado, produce un incremento en la radiación interceptada. Esto podría atentar contra el ahorro de agua en etapas vegetativas que persigue la estrategia de baja densidad. Sin embargo, el similar consumo de agua entre cultivos macollados y desmacollados hasta el comienzo del período crítico (ET de Emergencia a 200°Cd previos a R₁) y durante el mismo (ET de 200°Cd previos a R₁ hasta 250°Cd posteriores a R₁), no apoya tal especulación (Figura 2B). Así, los resultados de esta trabajo difieren de los resultados presentados por Rotili et al., (2021) utilizando modelos de simulación. En este trabajo, se indicaba una menor cantidad de agua disponible a floración en cultivos macollados, con respecto a cultivos no macollados, con un mayor efecto en ambientes húmedos, como el que se realizó este trabajo.

Por otro lado, los resultados de este trabajo indican que la presencia de macollos en una densidad de 2 pl.m⁻² produjeron cambios en el agua evapotranspirada total por el cultivo. El mayor consumo hídrico en los tratamientos con macollos a lo largo del ciclo del cultivo es coincidente con lo reportado por Rotili et al., (2021a) utilizando modelos de simulación. Sin embargo, las diferencias en evapotranspiración total en el presente trabajo estuvieron explicadas únicamente por diferencias en agua evapotranspirada en el período posterior al P.C. Adicionalmente, al desmacollar se redujo un 44% la radiación interceptada en todo el ciclo, mientras que la evapotranspiración se redujo un 9%. Así, disminuciones considerables en la cobertura del cultivo, causaron una disminución menos que proporcional sobre la ET. Esto pone de manifiesto que la presencia de macollos, si bien implica un incremento en el consumo de agua por transpiración (esperable según el incremento del PAIR), logró reducir la evaporación directa desde el suelo, permitiendo un incremento de la eficiencia global de uso del agua.

Trabajos previos han reportado que la cantidad de radiación interceptada produce cambios en la ET del cultivo de maíz (Blum, 1970; Ritchie and Burnett, 1971; Chen et al., 2019). Los resultados de este trabajo realizado durante una campaña en Balcarce indicaron que aumentos en la intercepción de radiación, ya sea por cambios en la densidad de plantas o cambios en el N° de macollos/planta, se asociaron de manera similar con la ET. Esta información será de utilidad para predecir el comportamiento del cultivo por medio de modelos de simulación.

Conclusión

Bajo las condiciones de este experimento, la inclusión de macollos en baja densidad no aumentó la ET antes ni durante el período crítico del cultivo. Además, el tratamiento macollado presentó una evapotranspiración mayor que el tratamiento desmacollado durante el ciclo del cultivo, lo cual fue explicado por diferencias en consumo de agua luego del período crítico. Finalmente, aumentos en cobertura del cultivo por variaciones en densidad o en el número de macollos por planta, se asociaron de la misma manera con ET.

Futuros estudios deberían (i) explorar el efecto de los macollos sobre la dinámica de agua en combinaciones de diferentes ambientes y años, contrastantes en su régimen hídrico y, (ii) validar las relaciones entre cobertura del cultivo y ET, por medio de variaciones en densidad y número de macollos por planta.



Referencias bibliográficas

Abbate, P.E., F.H. Andrade, and J.P. Culot. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci.* 124(3): 351–360. doi: 10.1017/S0021859600073317.

Andrade, F.H., C. Vega, S. Uhart, A. Cirilo, M. Cantarero, et al. 1999. Kernel Number Determination in Maize. *Crop Sci.* 39(2): 453–459. doi: 10.2135/CROPSCI1999.0011183X0039000200026X.

Blum, A. 1970. Effect of Plant Density and Growth Duration on Grain Sorghum Yield under Limited Water Supply. *Agron. J.* 62(3): 333–336. doi: 10.2134/AGRONJ1970.00021962006200030007X.

Çakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *F. Crop. Res.* 89(1): 1–16. doi: 10.1016/J.FCR.2004.01.005.

Cerrudo, A., J. Di Matteo, E. Fernandez, M. Robles, L.O. Pico, et al. 2013. Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. *Crop Pasture Sci.* 64(6): 580–587. doi: 10.1071/CP13201.

Chen, Z., S. Sun, Z. Zhu, H. Jiang, and X. Zhang. 2019. Assessing the effects of plant density and plastic film mulch on maize evaporation and transpiration using dual crop coefficient approach. *Agric. Water Manag.* 225: 105765. doi: 10.1016/J.AGWAT.2019.105765.

Denmead, O.T., and R.H. Shaw. 1960. The Effects of Soil Moisture Stress at Different Stages of Growth on the Development and Yield of Corn1. *Agron. J.* 52(5): 272–274. doi: 10.2134/AGRONJ1960.00021962005200050010X.

Ford, J.H., and D.R. Hicks. 1992. Corn Growth and Yield in Uneven Emerging Stands. *J. Prod. Agric.* 5(1): 185–188. doi: 10.2134/JPA1992.0185.

Gosse, G., C. Varlet-Grancher, R. Bonhomme, M. Chartier, J.M. Allirand, et al. 1986. Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. *Agron.* 6(1): 47–56.

Hernández, M.D., C. Alfonso, A. Cerrudo, M. Cambareri, A. Della Maggiora, et al. 2020. Eco-physiological processes underlying maize water use efficiency response to plant density under contrasting water regimes. *F. Crop. Res.* 254: 107844. doi: 10.1016/J.FCR.2020.107844.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1980. Carta de suelos de la República Argentina.

Nagore, M.L., L. Echarte, F.H. Andrade, and A. Della Maggiora. 2014. Crop evapotranspiration in Argentinean maize hybrids released in different decades. *F. Crop. Res.* 155: 23–29. doi: 10.1016/J.FCR.2013.09.026.

R Core Team. 2021. R: A Language Environment for Statistical Computer.

Richards, R.A., and T.F. Townley-Smith. 1987. Variation in leaf area development and its effect on water use, yield and harvest index of droughted wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 38(6): 983–992. doi: 10.1071/AR9870983.

Ritchie, J.T., and E. Burnett. 1971. Dryland Evaporative Flux in a Subhumid Climate: II. Plant Influences1. *Agron. J.* 63(1): 56–62. doi: 10.2134/AGRONJ1971.00021962006300010019X.

Rotili, D.H., L.G. Abeledo, P. DeVoil, D. Rodríguez, and G.H. Maddonni. 2021a. Exploring the effect of tillers on the water economy, plant growth and kernel set of low-density maize crops. *Agric. Water Manag.* 243: 106424. doi: 10.1016/J.AGWAT.2020.106424.

Rotili, D.H., A. Giorno, P.M. Tognetti, and G.A. Maddonni. 2019. Expansion of maize production in a semi-arid region of Argentina: Climatic and edaphic constraints and their implications on crop management. *Agric. Water Manag.* 226: 105761. doi: 10.1016/J.AGWAT.2019.105761.



Rotili, D.H., and G.A. Maddonni. 2016. Vegetative and reproductive development of shoots of different order of three maize hybrids at two contrasting population densities. *Agron. Ambient.* 36(1): 21–32.

Rotili, D.H., V.O. Sadras, L.G. Abeledo, J.M. Ferreyra, J.R. Micheloud, et al. 2021b. Impacts of vegetative and reproductive plasticity associated with tillering in maize crops in low-yielding environments: A physiological framework. *F. Crop. Res.* 265: 108107. doi: 10.1016/J.FCR.2021.108107.

Ryhiner, A.H., and M. Matsuda. 1978. Effect of plant density and water supply on wheat production. *Netherlands J. Agric. Sci.* 26(2): 200–209. doi: 10.18174/NJAS.V26I2.17099.

Sangoi, L., and R.J. Salvador. 1998. Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 33(297–306).

Sangoi, L., A. Schmitt, F. Saldanha, A., C.F. Iorentin, A.J. Pletsch, et al. 2009. Grain yield of maize hybrids at two plant densities with and without tillers removal. *Cienc. Rural* 39: 325–331. doi: 10.1590/S0103-84782008005000071.

Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1960. *Principles and procedures of statistics.*

Suero, E.E., and M.I. Travasso. 1988. Medición del contenido de agua en suelos. Métodos de radiación. In *Actas 12 Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Corrientes, Argentina. p. 152–153

Tetio-Kagho, F., and F.P. Gardner. 1988. Responses of Maize to Plant Population Density. I. Canopy Development, Light Relationships, and Vegetative Growth. *Agron. J.* 80(6): 930–935. doi: 10.2134/AGRONJ1988.00021962008000060018X.

Tollenaar, M., L.M. Dwyer, and D.W. Stewart. 1992. Ear and Kernel Formation in Maize Hybrids Representing Three Decades of Grain Yield Improvement in Ontario. *Crop Sci.* 32(2): 432–438. doi: 10.2135/CROPSCI1992.0011183X003200020030X.