

Premio de la Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires (versión 2017)

María E. Otegui, Ing. Agr. M.Sc. Dr.Sc.

El siguiente texto, cedido por sus autores para su difusión a través de la presente publicación, resume los contenidos de la Conferencia dictada por la Dra. María E. Otegui en la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, con motivo de la recepción del Premio de la Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires (versión 2017), el 23 de octubre de 2018. El mismo le fue otorgado por sus destacados antecedentes en investigación sobre los cultivos de cereales, en especial del maíz, y sus actividades de extensión en colaboración con la actividad privada, como las constituidas por organizaciones de productores tales como AACREA, que le han granjeado reconocimiento tanto nacional como internacional.

Fecha de siembra y rendimiento de maíz en ambientes con provisión hídrica contrastante de la región central de Argentina

Sowing date and maize grain yield across environments with contrasting water availability in the Central region of Argentina

María E. Otegui^{1,2,3*}  y Jorge L. Mercou⁴ 

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Estación Experimental Pergamino, Pergamino, Argentina.

³ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Área de Producción Vegetal, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

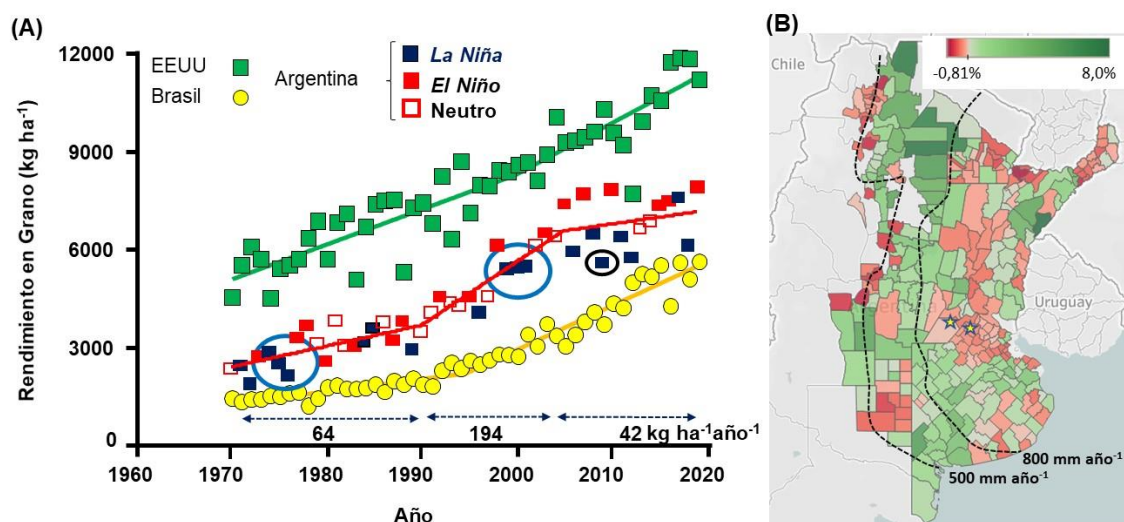
⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Agencia de Extensión Rural San Luis, San Luis, Argentina.

* otegui@agro.uba.ar.

Introducción

El aumento en la producción de maíz de Argentina registró un cambio dramático alrededor del año 2010, en que pasó de crecer a una tasa 0.60 t año^{-1} a hacerlo a una de $4.3 \text{ mill t año}^{-1}$. Ese cambio estuvo casi exclusivamente asociado al aumento en la superficie destinada al cultivo que, en ese mismo año, pasó de un valor de aumento nulo por varias décadas a crecer a una tasa de $0.47 \text{ mill has año}^{-1}$ (FAO, 2018). Aunque con diferencias en cuanto al año correspondiente al punto de inflexión y las tasas, estas tendencias copiaron lo observado a nivel mundial para este cultivo (FAO, 2018). El rendimiento en grano, por el contrario, registró en Argentina una contracción en su ganancia global anual, pasando de $194 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el período 1990-2004 a tan solo $42 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ desde entonces (Fig. 1A). Esta tendencia sí difiere del patrón mundial, para el cual el crecimiento anual del rendimiento en grano se ha sostenido a una tasa de $66 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (FAO, 2018). Más importante aún, el patrón de Argentina difiere del que

presentan los otros dos grandes productores del continente americano (Brasil y EEUU), cuya ganancia global de rendimiento se ha mantenido constante y en niveles superiores a los 100 kg ha⁻¹ año⁻¹ en las últimas dos décadas (Fig. 1A). Una parte importante de la diferencia puede atribuirse a que el aumento en la superficie destinada al cultivo en Argentina tuvo lugar principalmente en regiones consideradas de menor potencial de rendimiento (Aramburu Merlos et al., 2015), ubicadas en forma periférica a la región maicera tradicional del Norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba (Fig. 1B). Así, una parte importante de la nueva superficie destinada al maíz se caracteriza por un mayor riesgo de déficit hídrico (ORA, 2018). Otro cambio importante asociado a la expansión territorial del maíz fue un aspecto crítico del manejo de cualquier cultivo: la fecha de siembra (Otegui & López Pereira, 2003). A partir del año 2008 se registró una fuerte adopción de siembra tardía (desde fin de noviembre hasta fin de diciembre) en reemplazo de la tradicional siembra temprana de primavera (desde



mediados de septiembre hasta fin de octubre), cuyos efectos sobre la producción del cultivo en ambientes con oferta hídrica contrastante se analizarán en el presente trabajo.

Figura 1. (A) Evolución del rendimiento del cultivo de maíz en los tres mayores productores de las Américas. Los valores bajo las flechas

horizontales indican las pendientes correspondientes a los tres subperíodos detectados para Argentina. Para este país, los colores de los puntos distinguen la ocurrencia de una de las tres fases del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) según: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Los círculos destacan (i) en azul la ocurrencia consecutiva de tres fases *La Niña* (períodos 1973-1976 y 1998-2001), y (ii) en negro, el rendimiento medio más bajo registrado desde 2004, correspondiente a la campaña 2008/2009. Para EEUU las pendientes fueron 108 y 157 kg ha⁻¹ año⁻¹ con punto de inflexión en el año 2000 y para Brasil fueron de 38 and 135 kg ha⁻¹ año⁻¹ con punto de inflexión en el año 1995. Todos los modelos ajustados tuvieron $r^2 \geq 0.86$ ($P < 0.001$). Datos en base a <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. (B) Variación porcentual del área sembrada de maíz por partido entre los promedios correspondientes a las décadas pre y post 2010, según registros oficiales disponibles en <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Las líneas negras punteadas representan las isoyetas de 500 y 800 mm. Las estrellas indican la ubicación de los criaderos correspondientes a los principales programas de mejoramiento genético de maíz en Argentina. Mapa disponible en <https://public.tableau.com/profile/maria.elena.otegui#!/>

La siembra tardía y la expansión del maíz en Argentina

El atraso en la época de siembra de maíz no fue posible hasta el lanzamiento al mercado, en 1997, de los maíces genéticamente modificados (GM) con protección contra insectos, que permitieron minimizar las mermas de rendimiento asociadas al aumento en la incidencia de estas plagas, sin apelar a tratamientos químicos para su control. Los primeros híbridos GM fueron con gen Bt (por *Bacillus thuringiensis*) y permitieron reducir sustancialmente la incidencia del barrenador del tallo (*Ostrinia nubilalis* Hübner), la oruga militar (*Spodoptera frugiperda* Smith) y la oruga de la espiga (*Helicoverpa zea* Boddie). Esta protección fue luego robustecida con la inclusión de eventos adicionales ‘apilados’. La disponibilidad de esta nueva tecnología, sin embargo, no estuvo acompañada en Argentina de la recomendación de atrasar la fecha de siembra. Probablemente esto se debió a que tal opción no es una alternativa recomendable para las condiciones de producción de los EEUU para las cuales fue desarrollada y en las cuales la época de siembra no se extiende por más de dos meses (Choi et al., 2017) pues el rendimiento se asocia muy negativamente con su atraso (Kucharik, 2008). A esta situación contribuyó también la ausencia de un análisis probabilístico de los beneficios del atraso en la época de siembra, sustentado en el uso de herramientas integradoras para asistir a la toma de decisiones de manejo, como los modelos de simulación agronómicos del tipo CERES-Maize (Jones & Kiniry, 1986). A la falta de esta información se sumaba el paradigma dominante hasta ese momento para maximizar los rendimientos y hacer frente al déficit hídrico estival que se intensifica durante enero (Hall et al., 1992), que consiste en la recomendación de ubicar el período crítico para la determinación del número de granos antes de dicho déficit mediante una siembra lo más anticipada posible de primavera (Totis de Zeljkovich & Rebella, 1980). Esta estrategia era particularmente importante para hacer frente a las campañas con ocurrencia de la fase seca (*La Niña*) del fenómeno *El Niño Oscilación del Sur* o ENOS (Messina et al., 1999; Podestá et al., 1999).

La incorporación desde la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA), junto a la Facultad de Agronomía de la UBA (FAUBA), del modelo CERES-Maize para el estudio de la fertilización nitrogenada en maíz (Mercau et al., 2001), permitió consolidar la información necesaria de clima, suelo y genotipos para potenciar su uso localmente. Esto permitió también evaluar los efectos de cambios en la fecha de siembra en diferentes ambientes de la región templado-húmeda y el desarrollo de un *software* de acceso libre (Otegui et al., 2002). Sin embargo, la

siembra tardía no fue incorporada a los planteos agrícolas de la región de manera perceptible hasta después del año 2009, cuando la relación de precios entre el trigo y el maíz hizo poco atractivo al cereal invernal y una serie de años con repetición de fases *La Niña* provocó fuertes caídas en los rendimientos del maíz (Fig. 1A). Desde entonces, la superficie destinada a siembra tardía creció sostenidamente hasta ubicarse hoy en un nivel comparable al de la siembra temprana (Gayo & López, 2018) aunque, en la zona templada, la mayor proporción se encuentra fuera de la zona núcleo. Este avance rápido de su adopción también promovió el desarrollo de investigación destinada a optimizar su resultado, principalmente la referida al manejo de la nutrición y la densidad de plantas (Caviglia et al., 2014; Coyos et al., 2018; Mercau & Otegui, 2015). La economía del agua recibió menos atención.

Fecha de siembra y disponibilidad hídrica en la región templado-húmeda Central

Sin restricciones hídrico-nutricionales, el rendimiento de maíz en la zona núcleo maicera (p. ej., norte de la provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe) disminuye con el atraso en la fecha de siembra (Otegui et al., 1996), pues el cultivo explora ambientes foto-termales menos favorables durante sus etapas reproductivas (Bonelli et al., 2016). Sin embargo, para la producción de secano que caracteriza a la mayor parte de la superficie destinada al cultivo, la modificación en la época de siembra también ubica esas etapas en diferentes condiciones en cuanto al balance hídrico y el riesgo de experimentar deficiencias de agua (Maddonni, 2012). Para evaluar dichas diferencias se analizaron cultivos de maíz sembrados en épocas contrastantes (20-Sep y 10-Dic) sobre suelos de buena capacidad agrícola y contenido hídrico a capacidad de campo (CC) hasta una profundidad de 1,8 m, utilizando una serie histórica de 41 datos climáticos correspondientes a la localidad de Pergamino (Fig. 2A) y el modelo de simulación CERES-Maize. Se determinó que, en esas condiciones, el atraso en la época de siembra tiene como consecuencia (i) un acortamiento de la etapa de prefloración respecto de la de postfloración, aunque con poca variación de la duración del ciclo total, (ii) un incremento de la probabilidad de déficit hídrico en floración, pero a niveles de estrés siempre inferiores al 10% (estimado como reducción del crecimiento respecto a una situación sin estrés), y (iii) una disminución sustancial de la probabilidad de déficit hídrico durante todo el período de formación del grano, que casi nunca supera el 20% para una siembra tardía y en cambio llega a valores mayores a 40% para la temprana.

Cuando el mismo análisis se efectúa sólo para los años *La Niña* del fenómeno ENOS (p. ej., la fase seca), los índices de estrés no se modifican sustancialmente para la siembra tardía, pero aumentan pronunciadamente para la temprana (Fig. 2B). La inclusión de un cultivo antecesor invernal (p. ej., trigo), que reduce el contenido hídrico del suelo en profundidad y atrasa la siembra al 20-Dic para asegurar la recarga del estrato superior, aumenta el riesgo de déficit hídrico alrededor de floración respecto a las otras alternativas y tiene un riesgo intermedio de déficit hídrico durante el llenado de los granos, pero siempre inferior al 30% (Fig. 2).

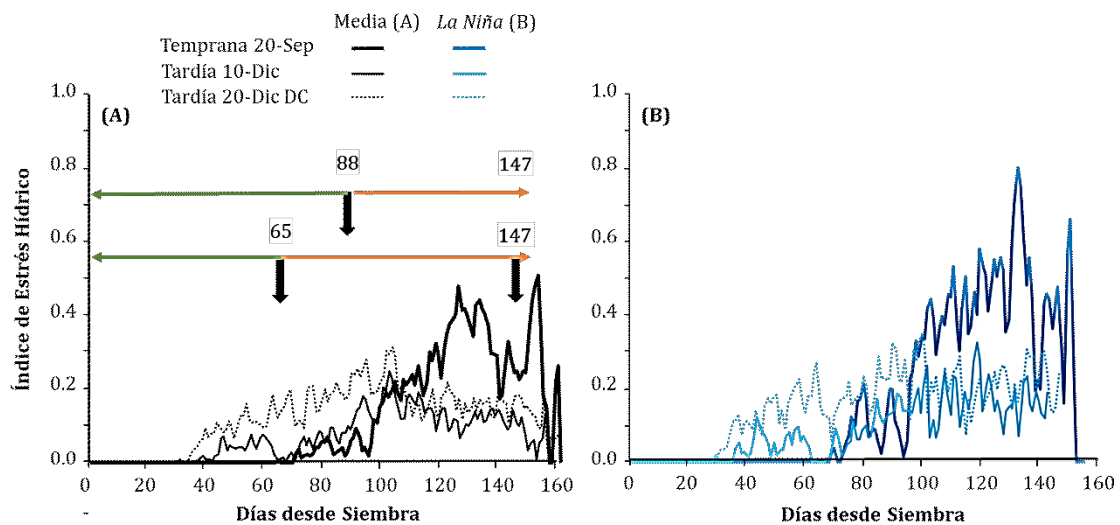


Figura 2. (A) Evolución del índice de estrés hídrico para crecimiento obtenido con el modelo CERES-Maize para cultivos de maíz conducidos en secano en Pergamino (33° 56' S, 60° 33' O, 76 msnm). Los valores corresponden al promedio diario desde la siembra a través de 41 años de datos climáticos para tres condiciones: (i) siembra del 20-Sep con el perfil de suelo a capacidad de campo (CC) hasta 1,8 m de profundidad, (ii) siembra del 10-Dic con el suelo como en (i), y (iii) siembra del 20-Dic con el suelo a CC hasta 0,6 m y con 30% de agua útil entre 0,6 y 1,8 m, simulando un doble cultivo (DC). Las flechas horizontales en (A) representan el período prefloración (verde) y postfloración (naranja), para siembras de septiembre (superior) y diciembre (inferior). Los números sobre ellas indican la media para los días a floración y a madurez fisiológica. (B) Análisis como en (A), pero correspondiente sólo a los años clasificados como *La Niña*.

Los escenarios descritos se reflejan en el desempeño productivo de los cultivos. Cuando se analiza el rendimiento en grano, se puede observar claramente la ventaja de la siembra tardía del 10-Dic sobre las otras alternativas, a las cuales supera en casi el 90% de los años evaluados (Fig. 3). Para la siembra del 10-Dic, el rendimiento superaría las 8 t ha⁻¹ en casi el 90% de los años, mientras que para las otras lo haría en sólo el 50% de los años. También se puede observar que, para el rango entre los cuantiles representativos del 10 y 90% del rendimiento en grano, las siembras tardías tienen menos variabilidad interanual que las tempranas y que la inclusión de un cultivo antecesor, que deja el suelo más seco en profundidad y demora la siembra al 20-Dic, no implica una merma de

rendimiento sustancial respecto de una siembra temprana. Este resultado fue consistente a través de diferentes sitios de la región templada húmeda ubicados entre 31°12' S y 35° 54' S (Mercau & Otegui, 2015), aunque generándose mermas más apreciables de rendimiento con el atraso de la fecha de siembra en el extremo sur de la región evaluada (Pehuajó).

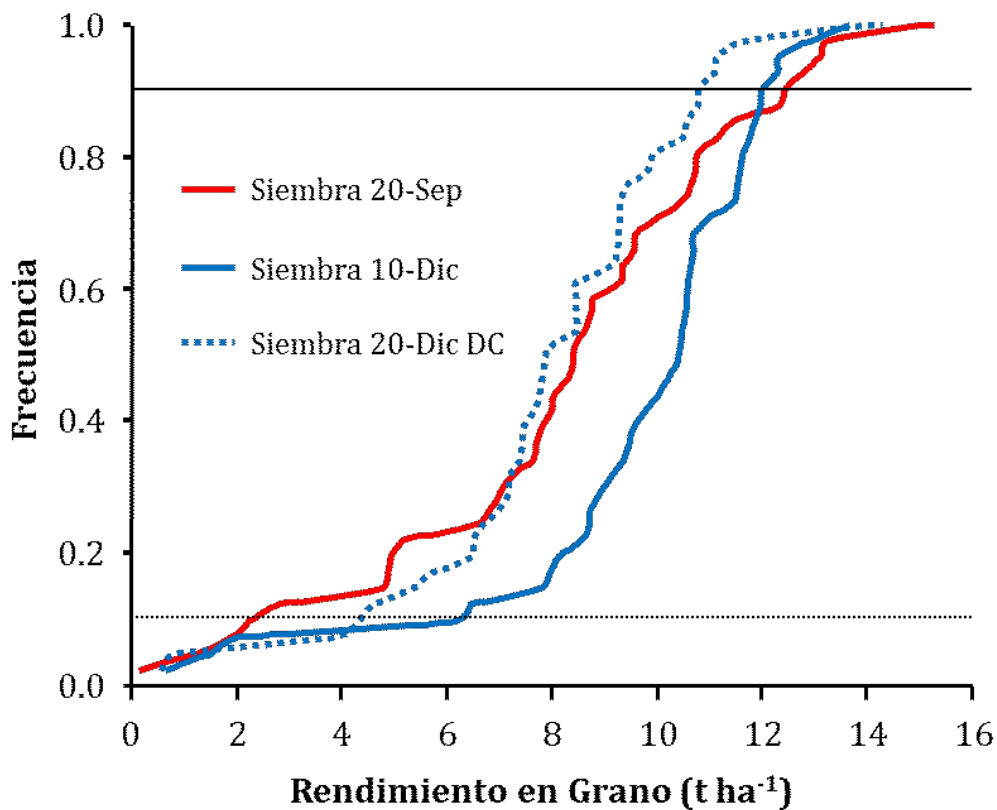


Figura 3. Frecuencia estimada de rendimiento en grano (0% de humedad) para cada uno de los escenarios descritos en la Figura 2. Las líneas horizontales negras representan los cuantiles 10% (punteada) y 90% (llena).

Fecha de siembra y disponibilidad hídrica en las regiones subhúmeda y semiárida

Hacia el oeste de la zona núcleo se hace más concentrado el régimen monzónico, pero también disminuyen las precipitaciones y el período libre de heladas (Maddonni, 2012), además de pasar de suelos más arcillosos típicos de la zona húmeda (Argiudoles típicos en Pergamino) a menos arcillosos en la zona subhúmeda (p. ej., Hapludoles típicos) y con menor desarrollo del perfil en la zona semiárida (p. ej., Haplustoles énticos). La combinación de estos factores tiene como consecuencias (i) la imposibilidad de sembrar muy temprano en primavera por el mayor riesgo de heladas tardías, pero también por la falta de humedad para la siembra, (ii) una disminución importante del agua almacenable en el suelo en la zona semiárida (Mendez et al., 2016b, 2016a), (iii) la casi imposibilidad de incluir un antecesor invernal sin aumentar el riesgo de déficit hídrico, y (iv) una mayor restricción al retraso excesivo de la siembra en diciembre porque aumenta el riesgo de heladas tempranas que interrumpen anticipadamente el llenado de los granos. Hacia el oeste también aumenta el riesgo de golpe de calor, principalmente durante el mes de enero (Rattalino Edreira, 2013).

Integrando todos los aspectos comentados, la predicción para una siembra temprana en un ambiente sub-húmedo, como el de Manfredi en Córdoba, y semi-árido, como el de Villa Mercedes en San Luis, es de mayor nivel de estrés hídrico que en la región húmeda durante el período crítico de floración y similar nivel durante la formación del grano (Fig. 3A). Para una siembra tardía se espera un muy bajo nivel de estrés en la zona sub-húmeda y un poco más elevado en la zona semi-árida, aunque siempre menor que para la siembra temprana (Fig. 3B). Estas tendencias repercuten sobre la determinación del rendimiento en grano de manera similar a la comentada para la zona húmeda (Fig. 2B). Los determinantes ecofisiológicos asociados se discuten a continuación.

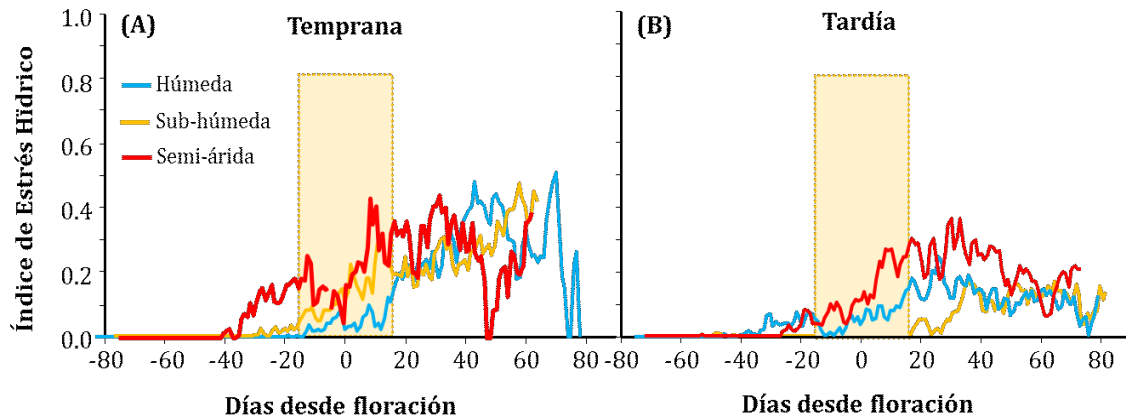


Figura 3. Evolución respecto al momento de floración femenina del índice de estrés hídrico para crecimiento obtenido con el modelo CERES-Maize. Los datos corresponden a cultivos de maíz conducidos en secano en Manfredi (Mn: 31°51' S, 63°45' O, 282 msnm), correspondiente a la región sub-húmeda, y Villa Mercedes (VM: 33°40' S, 65°27' O, 512 msnm), correspondiente a la región semi-árida. Se comparan con los de Pergamino (Pe: 33° 56' S, 60° 33' O, 76 msnm) en la zona húmeda (Fig. 2). Los valores representan el promedio diario a través de 41 años de datos climáticos para (A) siembras tempranas del 20-Sep en Pe, 15-Oct en Mn y 30-Oct en VM, con todo el perfil de suelo a capacidad de campo (CC) en Pe y a CC hasta 0,6 m y con 30% de agua útil en el resto del perfil para Mn y VM, y (B) siembra del 10-Dic con todo el perfil a CC en todos los sitios. El sector sombreado en amarillo indica el período crítico para la determinación del número de granos (Cerrudo et al., 2013).

Análisis ecofisiológico de la determinación del rendimiento a través de ambientes

El atraso en la fecha de siembra provocaría, en todos los ambientes evaluados, un acortamiento de la etapa vegetativa respecto a la reproductiva, como se describiera para la región húmeda (Fig. 2A). Este acortamiento no tiene efectos negativos sobre la generación de área foliar, alcanzándose valores de índice de área foliar (IAF) iguales o superiores a los de una siembra temprana (Fig. 4), en concordancia con las evidencias experimentales (Maddoni & Otegui, 1996). Consecuentemente, el atraso en la época de siembra no tiene efectos negativos sobre la máxima eficiencia de intercepción de luz en los ambientes evaluados (Fig. 4).

El atraso en la fecha de siembra sí tendría efectos diferentes sobre la determinación del número de granos (NG) según el ambiente. En la zona húmeda se espera que en el 90% de los años el atraso provoque una leve caída en el NG m⁻² (Fig. 4A). Por el contrario, con el atraso en la época de siembra se espera un mayor NG m⁻² en (i) el 60% de los años en la región semi-húmeda (Fig. 4(B), y (ii) el 70% de los años en la semi-árida (Fig. 4C). En el caso del peso individual del grano (PG), en cambio, el efecto favorable del atraso en la fecha de siembra es evidente en casi todos los años en la región húmeda (Fig. 4A) y todos los años en la sub-húmeda (Fig. 4B), mientras que no existen diferencias pronunciadas entre fechas de siembra en la región semi-árida (Fig. 4C).

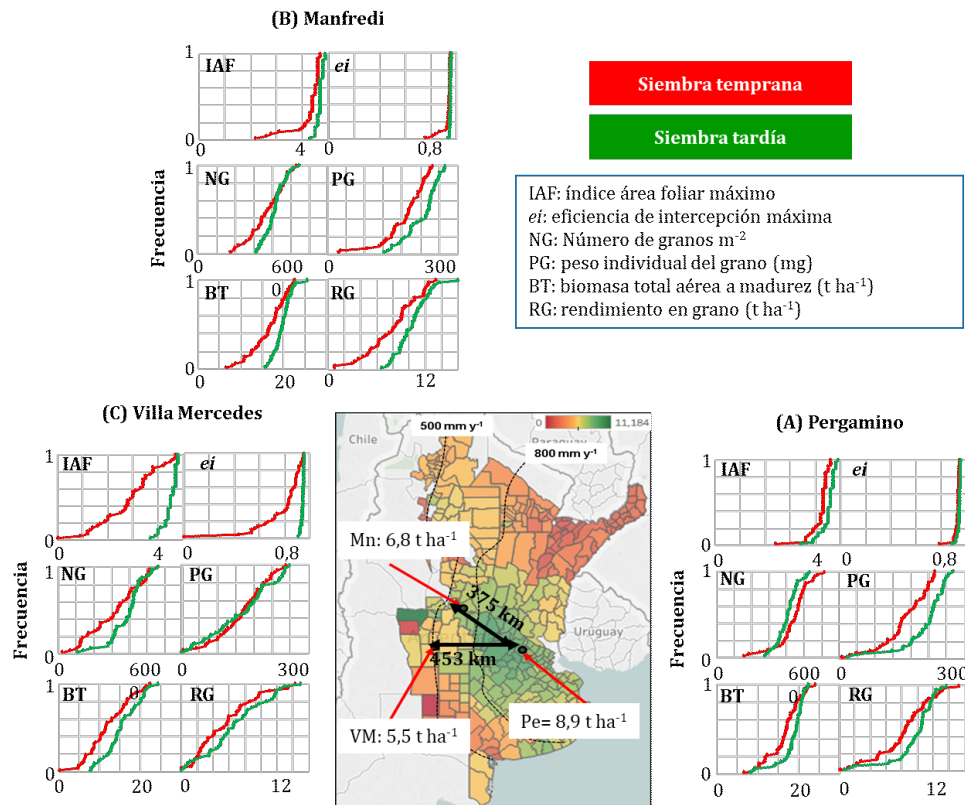


Figura 4. Síntesis de la respuesta del rendimiento en grano, sus determinantes fisiológicos y sus componentes numéricos a la variación en fecha de siembra en tres sitios representativos de un gradiente hídrico entre (A) la región húmeda (Pe: Pergamino), (B) la sub-húmeda (Mn: Manfredi), y (C) la semi-árida (VM: Villa Mercedes) de la región central de Argentina. Los datos representan las frecuencias acumuladas de cada rasgo a partir de la simulación de una serie histórica de 41 años de datos climáticos. Las fechas de siembra y condiciones simuladas como en Fig. 3. El mapa representa el rendimiento en grano por partido como promedio de la última década. Se indica la ubicación de cada sitio y rendimiento del partido correspondiente.

Los efectos positivos del atraso de la fecha de siembra en todos los ambientes evaluados tendrían como resultado una mejora clara en la producción de biomasa total aérea y el rendimiento en grano en más del 80% de los años en todos los sitios. Es importante destacar, no obstante, que las tendencias son válidas para siembras hasta el 10-Dic, ya que atrasos posteriores pueden dar lugar a diferencias importantes entre ambientes en un gradiente norte (menos sensible) a sur (más sensible) y este (menos sensible) a oeste (más sensible) por el aumento en ambos casos del riesgo de heladas tempranas (Maddonni, 2012) y el mayor deterioro de las condiciones foto-termales con el aumento de la latitud (Bonelli et al., 2016), que afectarían negativamente la determinación del PG y consecuentemente del rendimiento (Mercau & Otegui, 2015).

Conclusiones

Los beneficios de las siembras tardías en la región templada de Argentina están muy bien respaldados por estudios experimentales y teóricos, principalmente en la región

húmeda. Empieza a producirse información para los ambientes sub-húmedo y semi-árido, que representan desafíos diferentes. Las variaciones esperadas de rendimiento en respuesta a los factores del ambiente se pueden estimar bien en términos probabilísticos mediante el uso de modelos de simulación de cultivos, tal como se ha ocurrido desde hace ya más de 20 años para la región húmeda.

La expansión del cultivo de maíz hacia el oeste de la zona Central de Argentina aumenta el riesgo de déficit hídrico, particularmente en siembras tempranas. La adopción de una siembra tardía reduce este riesgo considerablemente, pero no en igual magnitud entre los ambientes evaluados. Un aspecto destacado del análisis entre regiones es la falta de un patrón uniforme en el desarrollo de los efectos de la sequía sobre el crecimiento del cultivo y la determinación del rendimiento. Esa condición, y los pronósticos climáticos de mediano plazo, son los mayores desafíos, tanto para el manejo como para el mejoramiento del cultivo para diferentes ambientes de la zona estudiada

Referencias

- Aramburu Merlos, F., Monzon, J. P., Mercu, J. L., Taboada, M., Andrade, F. H., Hall, A. J., Jobbagy, E., Cassman, K. G., & Grassini, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, 184, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.001>
- Bonelli, L. E., Monzon, J. P., Cerrudo, A., Rizzalli, R. H., & Andrade, F. H. (2016). Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 198, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.003>
- Caviglia, O. P., Melchiori, R. J. M., & Sadras, V. O. (2014). Nitrogen utilization efficiency in maize as affected by hybrid and N rate in late-sown crops. *Field Crops Research*, 168, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.005>
- Cerrudo, A., Di Matteo, J., Fernandez, E., Robles, M., Pico, L. O., & Andrade, F. H. (2013). Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. *Crop and Pasture Science*, 64(6), 580–587. <https://doi.org/10.1071/CP13201>
- Choi, Y. S., Gim, H. J., Ho, C. H., Jeong, S. J., Park, S. K., & Hayes, M. J. (2017). Climatic influence on corn sowing date in the Midwestern United States. *International Journal of Climatology*, 37(3), 1595–1602. <https://doi.org/10.1002/joc.4799>
- Coyos, T., Borrás, L., & Gambin, B. L. (2018). Site-specific covariates affecting yield response to nitrogen of late sown Maize in Central Argentina. *Agronomy Journal*, 110(4), 1544–1553. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.09.0520>
- FAO. (2018). Food and agriculture organization of the United Nations. Statics Division. FAOSTAT.
- Gayo, S., & López, M. (2018). Dinámica de los planteos de maíz en la Argentina: de dónde venimos y hacia dónde vamos. Congreso Maizar 2018 - Competitividad Con Desarrollo.
- Hall, A. J., Rebella, C. M., Ghersa, C. M., & Culot, J. P. (1992). Field-crop systems of the Pampas. In *Ecosystems of the World* (p. 18).
- Jones, C. A., & Kiniry, J. R. (1986). CERES-Maize. A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Pres.
- Kucharik, C. J. (2008). Contribution of planting date trends to increased maize yields in the central United States. *Agronomy Journal*, 100(2), 328–336. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0145>
- Maddonni, G. A. (2012). Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina—a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(3–

- 4), 325–345. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0478-9>
- Maddonni, G. A., & Otegui, M. (1996). Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Res.*, 48, 81–87.
 - Mendez, M. J., Casagrande, G., & Vergara, G. (2016a). Efecto del ENOS (El Niño Oscilación del Sur) sobre el agua almacenada en el suelo en siembras de primavera temprana de maíz en La Pampa. In G. T. Vergara (Ed.), *XVI Reunión Argentina y VIII Reunión Latinoamericana de Agrometeorología* (pp. 15–16). Asociación Argentina de Agrometeorología.
 - Mendez, M. J., Casagrande, G., & Vergara, G. (2016b). Efecto del ENOS (El Niño Oscilación del Sur) sobre la evolución del agua almacenada en el suelo en siembras de primavera tardía de maíz en La Pampa. In G. Vergara (Ed.), *XVI Reunión Argentina y VIII Reunión Latinoamericana de Agrometeorología* (pp. 17–18). Asociación Argentina de Agrometeorología.
 - Mercau, J. L., & Otegui, M. E. (2015). A Modeling Approach to Explore Water Management Strategies for Late-Sown Maize and Double-Cropped Wheat-Maize in the Rainfed Pampas Region of Argentina. In L. R. Ahuja, L. Ma, & R. J. Lascano (Eds.), *Advances in Agricultural Systems Modeling* (Vol. 5, pp. 351–373). ASA, CSSA, SSSA. <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel5.c13>
 - Mercau, J. L., Satorre, E. H., Otegui, M. E., Maddonni, G. A., Cárcova, J., Ruiz, R., Uribe Larrea, M., & Menéndez, F. J. (2001). Evaluación a campo del comportamiento del modelo CERES en cultivos de maíz del norte de la provincia de Buenos Aires. In A.I.A.N.B.A. (Ed.), *Actas VII Congreso Nacional de Maíz*. A.I.A.N.B.A.
 - Messina, C. D., Hansen, J. W., & Hall, A. J. (1999). Land allocation conditioned on El Niño-Southern Oscillation phases in the Pampas of Argentina. *Agricultural Systems*, 60(3), 197–212. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00032-3)
 - ORA. (2018). Oficina de Riesgo Agroclimático; <http://www.ora.gob.ar/>.
 - Otegui, M. E., & López Pereira, M. (2003). Fecha de siembra. In E. H. Satorre, R. L. Benech-Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui, & R. Savin (Eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo* (pp. 257–275). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
 - Otegui, M. E., Mercau, J. L., & Menéndez, F. J. (2002). Estrategias de manejo para la producción de maíz tardío y de segunda. In E. H. Satorre (Ed.), *Guía Dekalb del Cultivo de Maíz* (pp. 171–186). Dekalb Press.
 - Otegui, M. E., Ruiz, R. A., & Petrucci, D. (1996). Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region. *Field Crops Research*, 47(2–3), 167–174. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00031-7](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00031-7)
 - Podestá, G. P., Messina, C. D., Grondona, M. O., & Magrin, G. O. (1999). Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño–Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology*, 38(10), 1488–1498. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1488:ABGCYI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1488:ABGCYI>2.0.CO;2)
 - Rattalino Edreira, J. I. (2013). Estrés por golpe de calor en maíz: Diferencias en las respuestas ecofisiológicas entre genotipos templados y tropicales. In EPG-FAUBA (Ed.), *PhD Thesis* (p. 153). Universidad de Buenos Aires. <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=2013rattalinoedreirajuaniagnacio>
 - Totis de Zeljkovich, L., & Rebella, C. (1980). Necesidades de agua de un cultivo de maíz en la región de Pergamino. In A.I.A.N.B.A. (Ed.), *Actas del 2do. Congreso Nacional de Maíz* (pp. 211–219). A.I.A.N.B.A.