

Capítulo 12

Fecha de siembra

María Elena Otegui

Fernando Andrade

Alfredo Cirilo

Jorge Mercau



12. Fecha de siembra

María Elena Otegui, Fernando Andrade, Alfredo Cirilo y Jorge Mercou

12.1. Introducción

La elección de la fecha de siembra es una decisión frecuentemente condicionada por razones operativas (oportunidad de labores, disponibilidad de insumos) o estratégicas (escape a adversidades climáticas o biológicas), por lo que resulta conveniente conocer e interpretar los efectos de la variación del momento de implantación del cultivo sobre su productividad.

Las principales limitaciones a considerar para la selección de la fecha de siembra del maíz en una región específica son el período libre de heladas y la ocurrencia de estrés por calor y/o déficit hídrico, principalmente alrededor del período crítico de floración. Para la región pampeana de Argentina, el período libre de heladas aumenta de sur a norte y de oeste a este (Hall et al., 1992). Así, las siembras en la región central húmeda (e.g. Pergamino, 33°53'S 60°34'O) son frecuentemente más tempranas que en el sur pampeano (e.g. Balcarce, 37°50'S 58°15'O) y que en la región subhúmeda ubicada hacia el oeste (e.g. Río Cuarto 33°07'S 64°21'O). Para suelos profundos sin restricciones permanentes al crecimiento de las raíces, el déficit hídrico de verano aumenta de sur a norte y de este a oeste (Hall et al., 1992; Capítulo 2), dependiendo principalmente de la demanda atmosférica y la frecuencia e intensidad de las lluvias.

Los cultivos se deben manejar de manera tal de aprovechar la estación de crecimiento teniendo en cuenta además que los períodos más críticos para la determinación del rendimiento (Capítulo 4) ocurran en momentos con condiciones favorables para el crecimiento. Los productores cuentan con dos prácticas claves para lograr estos objetivos: la fecha de siembra y el cultivar.

En el presente capítulo se analizan los efectos de la modificación de la fecha de siembra sobre el desarrollo, el crecimiento y el rendimiento del cultivo de maíz.

12.2. Fecha de siembra y rendimiento potencial del maíz

En nuestras zonas agrícolas, la radiación, la temperatura y el fotoperíodo varían marcadamente a lo largo del año (Figura 12.1). Estos factores tienen una fuerte influencia sobre el crecimiento y desarrollo del maíz (Capítulos 2 y 3). Por esto, al variar la fecha de siembra se modifican las condiciones ambientales a las que es expuesto el cultivo a lo largo de la estación de crecimiento, lo que afecta su rendimiento potencial. Considerando un cultivar sin respuesta al fotoperíodo, en la Figura 12.1 se representa la variación estimada de la duración del ciclo de un híbrido posible de ser utilizado en todos los ambientes representados (madurez relativa 119) cuando es sembrado en diferentes fechas en cada localidad. Por un lado, en todas

las localidades el atraso en la fecha de siembra produce el acortamiento de la etapa prefloración (Siembra-R1), que sólo en siembras muy tardías es compensado por el alargamiento de la etapa postfloración (R1-R6). Esta tendencia es acompañada por el desplazamiento del período crítico y el llenado del grano hacia ambientes con menor oferta radiativa, pero también con menor riesgo de déficit hídrico y golpe de calor. Por otro lado, en la medida que nos desplazamos a latitudes más altas (Anguil o Balcarce) se acorta el período libre de heladas (PLH) y consecuentemente la ventana en la cual es posible realizar el cultivo. En estas condiciones, además, el PLH disminuye hacia el oeste (Anguil) respecto al este (Balcarce) por mayor continentalidad, aunque en el mismo sentido también aumenta la carga calórica diaria y esto aumentaría la probabilidad de completar el ciclo en siembras retrasadas (10-Dic).

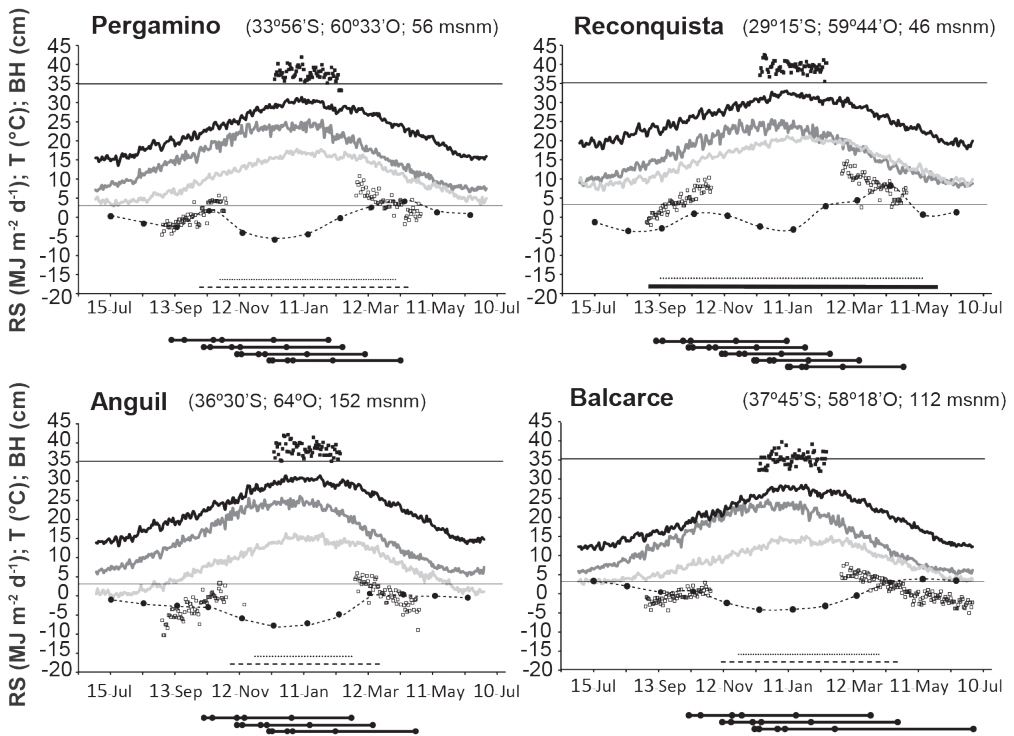


Figura 12.1: Evolución de los valores diarios de radiación solar (RS) incidente (línea negra) y temperaturas (T) máxima (línea gris oscura) y mínima media (línea gris clara) correspondientes al promedio del período 1971-2012 (42 años) para cuatro localidades productoras de maíz de Argentina, ubicadas en diferentes combinaciones de latitud y longitud. Se indican también los valores correspondientes a (i) el balance hídrico (BH) medio mensual, como diferencia entre los valores acumulados de las precipitaciones y la evapotranspiración potencial (círculos negros unidos por una línea punteada), (ii) los valores de T mínimos (cuadrados vacíos) y máximos (cuadrados llenos) diarios absolutos de la serie para los períodos del año que podrían afectar más negativamente al cultivo según la fecha de siembra, y (iii) el período libre de heladas medio (línea horizontal cortada) o correspondiente a una probabilidad del 20% (línea punteada). Las líneas horizontales finas señalan las temperaturas de 3 °C (helada

agrometeorológica) y 35 °C (umbral orientativo de golpe de calor). Las líneas horizontales más gruesas próximas al eje 'x' representan la duración del ciclo para fechas de siembra del 10-Sep (sólo Pergamino y Reconquista), 10-Oct, 10-Nov y 10-Dic, y 10 de enero sólo en Reconquista. Los círculos negros sobre cada línea indican, sucesivamente de izquierda a derecha, los momentos de siembra, emergencia, V6, V8, R1 y R6. Los datos corresponden a un híbrido sin respuesta al fotoperíodo y con un TT de siembra a R1 de 900 °Cdía y de siembra a R6 de 1700 °Cdía, con T base de 10 °C (siembra-VE) u 8 °C (resto del ciclo). Los datos climáticos fueron obtenidos de <http://siga2.inta.gov.ar/> y el período libre heladas de <https://www.agro.uba.ar/heladas/>.

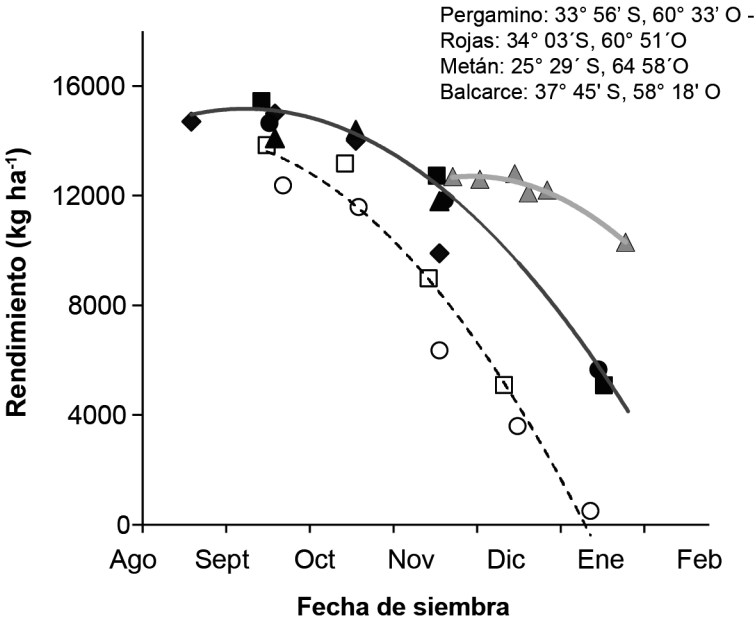


Figura 12.2. Rendimiento en grano de maíz (14% de humedad) en función de la fecha de siembra. Los datos corresponden a experimentos a campo en localidades de tres zonas productoras de maíz de Argentina: Sudeste Pampeana (Balcarce, cuadrados blancos: 1990-1991 y círculos blancos: 1991-1992), Núcleo Pampeana (Pergamino, cuadrados negros: 1997-1998 y círculos negros: 1998-1999; y Rojas, rombos negros: 1990-1991 y triángulos negros: 1991-1992) y Noroeste Extra-pampeana (Metán, triángulos grises: 2013-2014), utilizando híbridos recomendados para cada una de ellas creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales. Se muestran las líneas de tendencias para las tres zonas (Sudeste Pampeana: línea negra discontinua; Núcleo Pampeana: línea negra continua; Noroeste Extra-pampeana: línea gris). Se indican las coordenadas de las localidades en insertos próximos a cada línea. [Adaptado de Cirilo y Andrade (1994) Cirilo (2001), Otegui et al. (1995) y Cerrudo (2021)].

Más allá de las diferencias señaladas en duración del ciclo, el atraso en la fecha de siembra en las regiones maiceras de Argentina produce disminuciones en los rendimientos de un cultivo conducido bajo riego y fertilización (Cirilo y Andrade,

1994; Otegui et al., 1995; Cirilo, 2001, Bonelli et al., 2016; Cerrudo, 2021), aunque este efecto varía marcadamente con la latitud (Figura 12.2). Así, mientras que en la zona Núcleo Pampeana pueden esperarse mermas promedio para los meses de septiembre a diciembre de 0, 60, 100 y 130 kg ha⁻¹ por día de retraso en la siembra a partir de mediados de setiembre, respectivamente, más al sur en la zona Sudeste Pampeana esos valores ascienden a 20, 130, 140 y 160 kg ha⁻¹ por día de retraso. En cambio, en la zona Noroeste Extra-pampeana de menor latitud, variaciones de varias semanas en la fecha de siembra dentro de la estación apta para el cultivo producen escasas variaciones en el rendimiento esperado (Figura 12.2). Resultados similares fueron encontrados en otros lugares del mundo (Duncan et al., 1973; Knapp y Reid, 1981; Baum et al., 2019).

12.2.1. Desarrollo

El retraso de la siembra expone a las plantas a mayores temperaturas y fotoperíodos más largos durante las etapas vegetativas (Cirilo y Andrade, 1994; Otegui et al., 1995). La tasa de desarrollo hasta floración se reduce con días largos en genotipos de maíz con respuesta al fotoperíodo, y se acelera con el aumento de la temperatura en todos los genotipos (Capítulo 2). Como el efecto térmico prevalece sobre el fotoperiódico, la duración de la etapa vegetativa (VE-R1) se acorta (Figura 12.3A), por lo que la tasa de desarrollo hasta floración (Figura 12.3C) siempre aumenta cuando la siembra se retrasa (Bonhomme et al., 1994). No se han documentado efectos del fotoperíodo durante el llenado de los granos. En la región Pampeana central, la temperatura media durante esta segunda etapa (R1-R6) tiende a ser más uniforme para un rango amplio de fechas de siembra, lo cual se traduce en una duración poco variable entre ellas (Figura 12.3B). Sin embargo, al aumentar la latitud o movernos hacia las zonas subhúmedas y semiáridas (Figura 12.1), la ocurrencia de bajas temperaturas durante la fase de llenado efectivo de granos en siembras tardías tienden a alargar dicho período (Cirilo y Andrade, 1996; Otegui et al., 2021), aunque limitaciones de fuente fotosintética (Bonelli et al., 2016) y heladas tempranas (Maddonni, 2012; Otegui et al., 2021) pueden contrarrestar los beneficios de este efecto (Figura 12.3D; Capítulo 6).

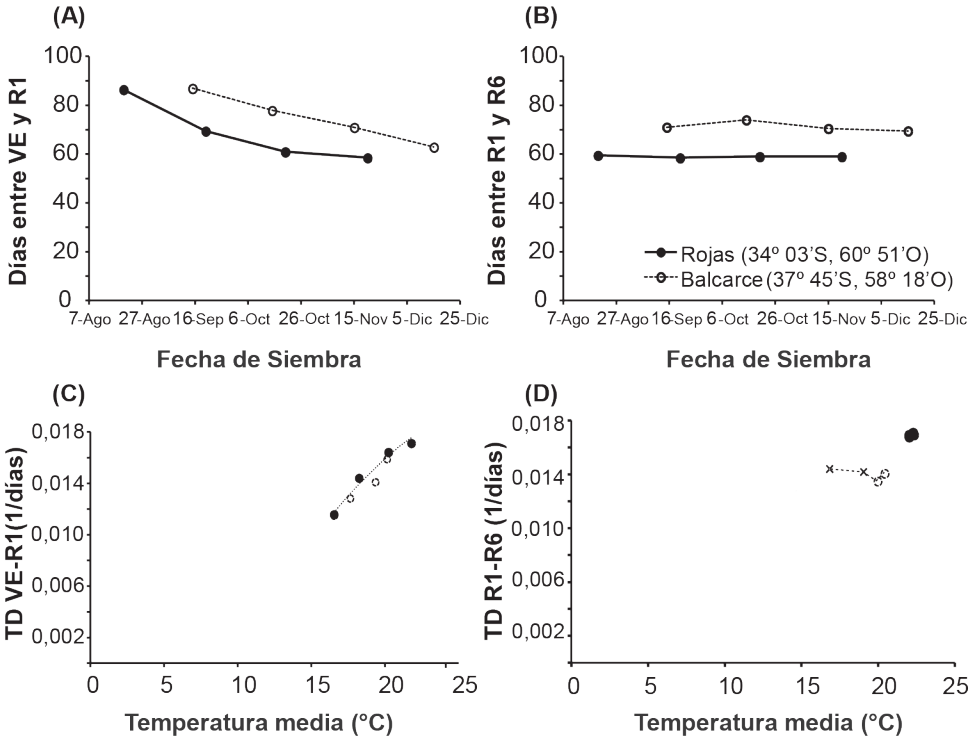


Figura 12.3. Paneles superiores: duración del ciclo en respuesta a la fecha de siembra para los periodos entre (A) emergencia (VE) y floración femenina (R1), y (B) R1 y madurez fisiológica (R6). Paneles inferiores: tasa de desarrollo (TD) en función de la temperatura media (Tm) del aire para los periodos (C) VE-R1, y (D) R1-R6. Los datos corresponden al híbrido DK636 y son promedio de dos campañas agrícolas (1990-1991 y 1991-1992) en dos localidades. El modelo cuadrático ajustado a los datos en (C) es $TD = -0.0299 + 0.0036 Tm - 6.6 \cdot 10^{-5} Tm^2$ ($r^2 = 0.095$). En (D), las cruces para datos de Balcarce corresponden a cultivos que no lograron culminar el llenado del grano. Datos adaptados de Cirilo y Andrade (1994) para el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Balcarce) y Otegui et al. (1995) para un ambiente de zona núcleo (Rojas).

12.2.2. Crecimiento y rendimiento

La producción potencial de biomasa total aérea cae con el atraso en la fecha de siembra (Cirilo y Andrade, 1994; Otegui et al., 1995; Srivastava et al., 2018). No obstante, el maíz muestra un notable incremento del crecimiento vegetativo en siembras tardías. Esto se debe a que, para atrasos de la siembra hasta noviembre-diciembre en la región Pampeana, el acortamiento del ciclo a floración es sobre-compensado por un aumento de la radiación incidente diaria y, según la latitud, de la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa (ec), que posibilita alcanzar más rápidamente altos valores de intercepción de radiación (ei) y

altas tasas de crecimiento vegetativo (Figuras 12.4 A y B). El resultado de estas tendencias es una mayor acumulación de biomasa hasta floración a pesar del menor tiempo de crecimiento vegetativo (Cirilo y Andrade, 1994; Otegui et al., 1995). Por lo tanto, altas temperaturas durante la etapa vegetativa en dichas siembras tardías también producen una aceleración en el crecimiento del maíz. En zonas templadas, las temperaturas medias diarias al comienzo de la estación de crecimiento son frecuentemente limitantes para la fotosíntesis del maíz (Capítulo 3). El efecto de la modificación de la fecha de implantación del cultivo sobre la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa (ec) es mayor cuanto más varía la temperatura durante el ciclo y cuanto más dependiente de esta variación sea la fotosíntesis del cultivar. Para maíz en Balcarce, la ec durante el período vegetativo (VE-R1) se incrementó de 3,3 a 4,2 g MJ al atrasar la fecha de siembra entre Septiembre y Diciembre. Este aumento en ec está asociado con la temperatura media del período (Andrade et al., 1993). Por el contrario, la ec durante dicha etapa en la zona núcleo maicera es más estable entre fechas de siembra (Otegui et al., 1995) y es de las más altas registradas para maíz (Sinclair y Muchow, 1999). Esta respuesta es atribuible a la baja frecuencia de temperaturas subóptimas respecto al sudeste bonaerense (Figura 12.1; Otegui et al., 1996).

Las condiciones de radiación y temperatura diarias durante el periodo de crecimiento reproductivo (R1-R6) se deterioran con el retraso en la fecha de siembra, lo que reduce la tasa de crecimiento y la relación fuente-destino durante el periodo reproductivo de cultivos sin restricciones hídricas ni nutricionales (Borrás et al., 2004; Otegui et al., 2021) (Capítulo 6). Estas tendencias se acentúan al aumentar la latitud (Bonelli et al., 2016; Grassini et al., 2009; Tsimba et al., 2013) y/o la continentalidad (Grassini et al., 2009; Otegui et al., 2021) (Figura 12.1). Las temperaturas subóptimas y las menores radiaciones incidentes durante la etapa reproductiva tienen efecto negativo sobre el índice de cosecha (Kiniry y Otegui, 2000; Ruget, 1993; Wilson et al., 1995).

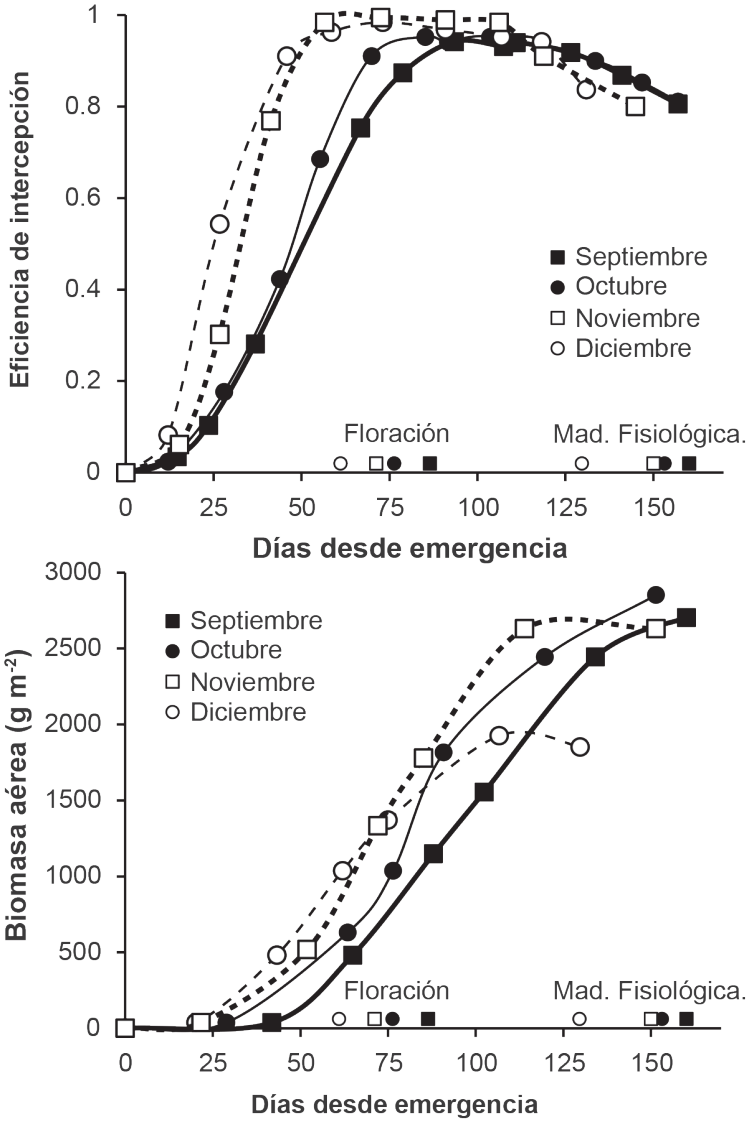


Figura 12.4. Evolución de (arriba) la eficiencia de intercepción de radiación fotosintéticamente activa, expresada como fracción de la radiación incidente, y (abajo) la biomasa aérea acumulada. Los datos corresponden a un híbrido de maíz de MR 116 sembrado en cuatro fechas entre Septiembre y Diciembre (se detallan los símbolos en los insertos) en Balcarce con densidad de 8,7 plantas m⁻², en hileras a 0,70 m y sin restricciones hídrico-nutricionales ni bióticas. Los símbolos sobre el eje de abscisas indican los días correspondientes al 50% de floración (R1) y 50% de madurez fisiológica (R6) para cada fecha de siembra (Adaptado de Cirilo y Andrade, 1994).

12.3. Fecha de siembra y rendimiento del maíz en conducción de secano

En un manejo de secano, como el que domina ampliamente la producción extensiva de maíz en Argentina, el desempeño del cultivo está más fuertemente condicionado por la probabilidad de ocurrencia de déficits hídricos durante el período crítico para la determinación del número de granos que por los cambios antes descriptos en la oferta fototermal a través de fechas de siembra. Por este motivo, una vez definida la estación de cultivo en función del riesgo de heladas, la fecha de siembra más apropiada para cada combinación de genotipo × ambiente será aquella que minimice el riesgo de (i) temperaturas demasiado bajas al inicio del ciclo, que provoquen un atraso excesivo de la emergencia del cultivo y aumenten la heterogeneidad espacio-temporal del stand de plantas (Lawles et al., 2012; Liu et al., 2004; Capítulo 11), y (ii) déficits hídricos y/o golpe de calor durante el período crítico (Maddonni, 2012). El retraso en la fecha de siembra para evitar estos factores de estrés recién pudo considerarse a partir de 1997, en que se liberaron al mercado los primeros híbridos de maíz genéticamente modificados (OGM) con protección contra insectos (Williams et al., 1997), coloquialmente conocidos como *maíz Bt* por la expresión de genes que codifican la síntesis de proteínas insecticidas aisladas de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Hasta ese momento, plagas como el barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*, F.), la oruga militar (*Spodoptera frugiperda* Smith) y la oruga de la espiga (*Helicoverpa zea* Boddie) hacían económicamente inviable la elección de siembras tardías, ya que su incidencia aumentaba con el atraso de la fecha de siembra y con ella el número de controles químicos necesarios. Por entonces, la estrategia para minimizar los efectos negativos del déficit hídrico estival consistía en una siembra lo más anticipada posible de primavera (Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980). A partir de la comercialización de los maíces Bt y mediante el uso del modelo de simulación agronómico CERES-Maize (Jones y Kiniry, 1986) validado para las condiciones locales (Mercau et al., 2001), se evaluaron los efectos de cambios en la fecha de siembra para diferentes ambientes de la región templado-húmeda (Mercau y Otegui, 2014; Otegui et al., 2002), estudio que luego se hizo extensivo a las regiones subhúmeda y semiárida (Otegui et al., 2021). Para esto se utilizó una serie histórica de 41 años de datos climáticos, los suelos más representativos de cada ambiente y las condiciones iniciales de agua en el perfil más esperables. Los efectos de las diferentes condiciones analizadas sobre el rendimiento en grano, sus determinantes fisiológicos y sus componentes numéricos se resumen en la Figura 12.5.

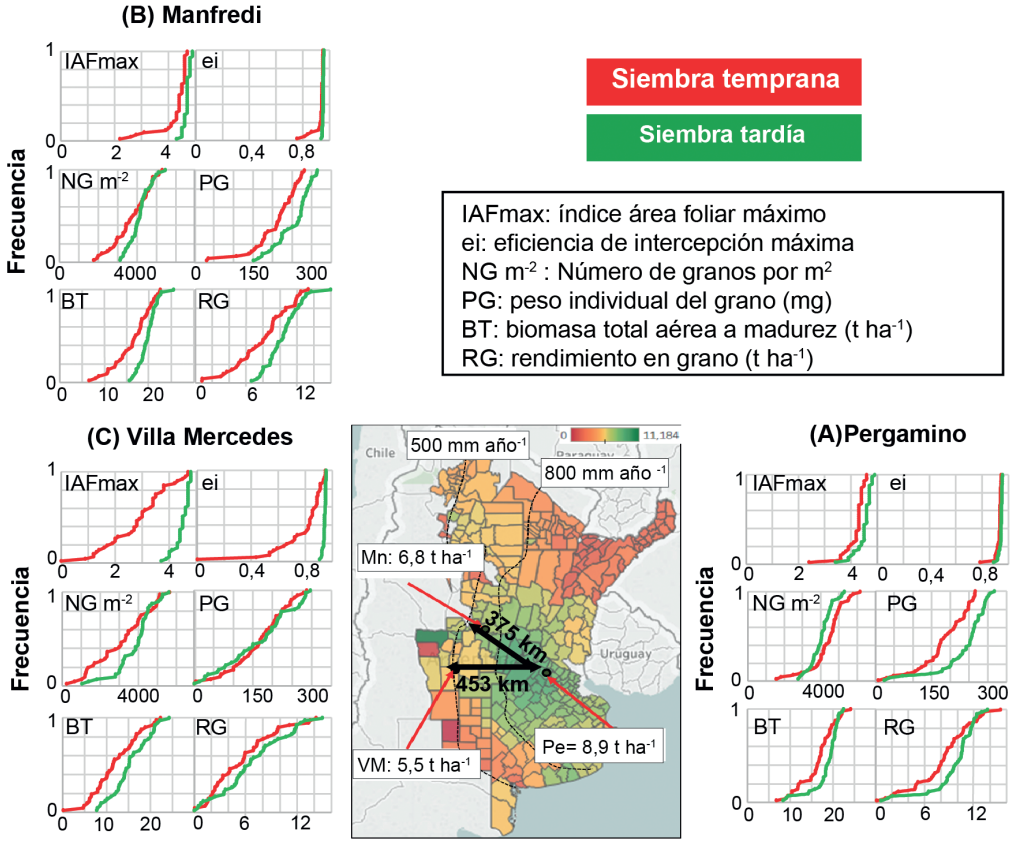


Figura 12.5. Síntesis de la respuesta del rendimiento en grano, sus determinantes fisiológicos y sus componentes numéricos a la variación en fecha de siembra en tres sitios representativos de un gradiente hídrico entre (A) la región húmeda (Pe: Pergamino; 33° 56' S, 60° 33' O, 76 msnm), (B) la sub-húmeda (Mn: Manfredi; 31°51' S, 63°45' O, 282 msnm), y (C) la semi-árida (VM: Villa Mercedes; 33°40' S, 65°27' O, 512 msnm) 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 condiciones simuladas fueron (i) 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 (ii) siembra del 10-Dic con todo el perfil a CC en todos los sitios. El mapa representa el rendimiento en grano por partido como promedio de la última década. Se indica la ubicación de cada sitio y el rendimiento del partido correspondiente. La escala de colores indican los rendimientos. A partir de Otegui y Mercou (2018).

El atraso en la fecha de siembra provocaría, en todos los ambientes evaluados, un acortamiento de la etapa vegetativa respecto a la reproductiva. Este acortamiento no tendría efectos negativos sobre la generación de área foliar, alcanzándose valores de índice de área foliar máximos (IAFmax) iguales o superiores a los de una siembra temprana, en concordancia con las evidencias experimentales (Maddonni y Otegui, 1996). Consecuentemente, el atraso en la época de siembra no tiene efectos negativos sobre la máxima eficiencia de interceptación de radiación en los ambientes evaluados. 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. 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 sub-húmeda, y (ii) el 70% de los años en la semi-árida. 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 y todos los años en la sub-húmeda, mientras que no existen diferencias pronunciadas entre fechas de siembra para la región semi-árida. Los efectos positivos del atraso de la fecha de siembra en los ambientes evaluados tendrían como resultado una mejora clara en la producción de biomasa total aérea y en el rendimiento en grano en más del 80% de los años en todos los sitios. Por un lado, los beneficios enumerados para las siembras tardías se deben al mejor acople entre un balance hídrico favorable y la ocurrencia de las etapas reproductivas (Figura 12.1). Por otro lado, los análisis no contemplan condiciones particulares, como la presencia de napas que pueden tornar al cultivo más independiente de las lluvias durante el período crítico y consecuentemente favorecer el resultado de siembras tempranas por su mayor potencialidad (Florio et al., 2014; Noretto et al., 2009). Considerando una red muy amplia de años (2009-2021) y lotes de producción para la zona templada Central húmeda (n= 1153), se pudo establecer la ventaja relativa de las siembras tardías respecto a las tempranas según el ambiente objetivo, definido por el nivel de rendimiento medio alcanzable (Ferraris, 2022). Así, las siembras tardías serían ventajosas en ambientes de hasta 8,5 T ha⁻¹ y las tempranas en aquellos con más 12 T ha⁻¹. Entre ambos umbrales deberán considerarse como relevantes otros aspectos, como las condiciones del año (e.g. según pronóstico ENSO) y el tipo de suelo. Respecto a esto último, de la misma red de información se pudo deducir que a mayor texturalidad (e.g. Argiudoles vérticos) es casi siempre recomendable el atraso de la fecha de siembra y a menor texturalidad (e.g. Hapludoles típicos, principalmente con presencia de napa) suele ser más recomendable la siembra temprana.

Es importante destacar que las tendencias analizadas en la Figura 12.5. 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). En ambos casos esto sería el resultado del aumento del riesgo de heladas tempranas (Maddonni, 2012; Figura 12.1) y el mayor deterioro de las condiciones foto-termales con el aumento de la latitud (Bonelli et al., 2016; Capítulo 6), que afectarían negativamente

la determinación del PG y, consecuentemente, del rendimiento (Mercau y Otegui, 2015). Como consecuencia de este gradiente, una alternativa adicional para la zona central húmeda es la realización de maíz como doble cultivo (DC) después de un cultivo invernal (e.g. trigo o arveja) o un cultivo de servicio, lo cual implicaría un atraso aún mayor en la fecha de siembra y condiciones menos ventajosas de agua acumulada en el perfil a la siembra. Considerando la situación más desventajosa, representativa de un cultivo de maíz sembrado el 20-Dic luego de la cosecha de un cultivo de trigo, se estimó que en un alto porcentaje de los años tal escenario produciría rendimientos inferiores a los de maíces como único cultivo de siembra tardía (Figura 12.6A), en buena medida por el aumento en la frecuencia de episodios de estrés hídrico durante la etapa vegetativa, el período crítico y parte del llenado del grano (Figura 12.6B). Sin embargo, las diferencias de rendimiento serían menos importantes respecto a las siembras tempranas, a las cuales esta estrategia podría superar incluso en un 30% de los años.

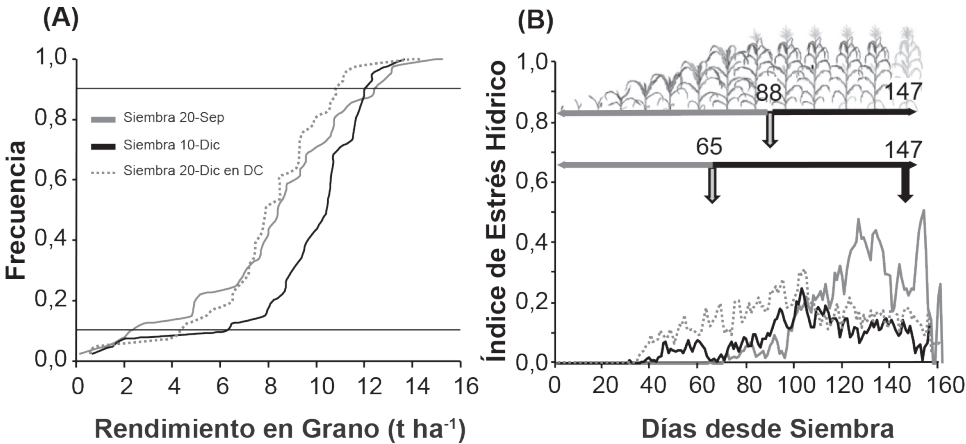


Figura 12.6. (A) Frecuencia de rendimiento en grano (0% de humedad) estimada con el modelo CERES-Maize para cultivos de maíz conducidos en secano en Pergamino. Los valores corresponden al promedio diario desde la siembra a través de 41 años de datos climáticos para tres condiciones: (i) siembra del 20-Sep 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 líneas punteadas horizontales indican los deciles 10% (inferior) y 90% (superior). (B) Evolución del índice de estrés hídrico para crecimiento. Las flechas horizontales representan los períodos prefloración (gris) y postfloración (negro), para siembras de septiembre (superior) y diciembre (inferior). Los números sobre las flechas verticales indican la media para los días a R1 (88 y 65 días, respectivamente) y a R6 (todas 147 días). A partir de Otegui y Mercau (2018).

La selección de la fecha de siembra también es una herramienta de escape de otras limitaciones ambientales para el crecimiento de los cultivos, como heladas tempranas o tardías, adversidades biológicas, clima lluvioso en la cosecha, etc.

Además, las temperaturas extremadamente altas en la polinización podrían afectar la viabilidad del polen, que es particularmente frecuente en cultivos de maíz creciendo en latitudes más bajas como las correspondientes al noroeste (Figura 12.2) y noreste (Reconquista en Figura 12.1) de Argentina. En tales regiones, es conveniente retrasar o adelantar la fecha de siembra para evitar altas temperaturas en la floración. En el mismo sentido, el maíz tardío aporta resiliencia frente al pronóstico de aumento de incidencia de sequías asociado con cambio climático y la degradación de los suelos (Capítulo 14).

12.4. Manejo de los cultivos en siembras tardías

El retraso en la fecha de siembra afecta la cobertura, el crecimiento, la fenología y el rendimiento de los cultivos (Figuras 12.5., 12.6. y 12.7). El conocimiento de estos efectos nos orienta en la selección de las prácticas de manejo más apropiadas para siembras tardías. Las principales prácticas de manejo a ajustar en siembras tardías son la elección de cultivares de ciclo apropiado, la densidad de plantas y el espaciamiento entre hileras.

Los efectos negativos del desplazamiento de las etapas reproductivas hacia épocas con condiciones foto-termales menos favorables por el retraso en la fecha de siembra son mayores cuanto más largo es el ciclo del cultivar. En general, los ciclos largos se benefician más de las siembras tempranas y son los que muestran una mayor reducción del rendimiento potencial al atrasar la fecha de siembra (Capítulo 13). El beneficio de acortar el ciclo en siembras retrasadas depende de la magnitud del retraso, del ciclo del híbrido considerado y del largo potencial de la estación de crecimiento. La caída en el rendimiento potencial de maíz por día de atraso en la fecha de siembra a partir del momento óptimo es mayor cuanto más alta es la latitud y cuanto más corta es la estación de crecimiento (Andrade et al., 1996). Por esto, acortar el ciclo del cultivar en siembras de segunda puede ser beneficioso en el sur de la región maicera pero no necesariamente en la región Central húmeda (Otegui et al., 2002).

Una duración de ciclo demasiado larga para la estación de crecimiento disponible tiene dos consecuencias principales: una disminución del rendimiento por un menor PG a causa de la finalización anticipada del período de llenado y un mayor contenido de humedad del grano a partir del cual comienza el proceso de secado post madurez (Borrás et al., 2004; Sala et al., 2007).

Finalmente, también deberá considerarse la mayor probabilidad en siembras tardías de (i) incidencia de enfermedades (e.g. fusariosis), en buena medida derivadas de la baja velocidad de secado en tales condiciones (Figura 12.7A), y (ii) problemas de cosecha, principalmente por la mayor incidencia de vuelco y quebrado provocados por cañas más débiles por la mayor disminución del contenido de reservas a madurez fisiológica (Figura 12.7B; Capítulo 6). En este sentido la estrategia en siembras tardías debería ser (i) elegir híbridos de secado rápido (Chazarreta et al., 2021), (ii) tender a densidades menores que las usualmente recomendadas para

maximizar rendimientos en condiciones potenciales bajo siembras tempranas (Capítulo 9), y (iii) utilizar entresurcos estrechos (≤ 52 cm) para compensar los posibles efectos negativos de una menor densidad sobre la captura de radiación (Capítulo 10).

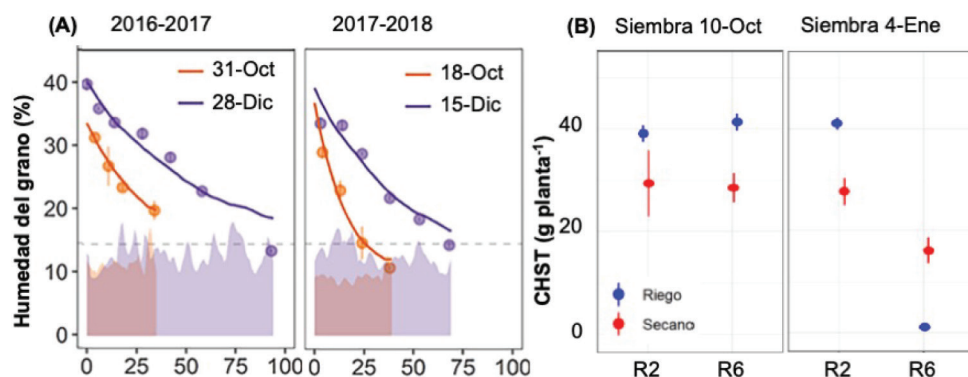


Figura 12.7. (A) Evolución de la humedad del grano en función de los días a partir de R6 para un híbrido de maíz cultivado en Pergamino en dos fechas de siembra durante dos campañas. El área sombreada representa la humedad de equilibrio (i.e., aquella a la cual no hay intercambio entre el grano y el aire que lo rodea). Las líneas corresponden a los modelos ajustados a cada fecha de siembra según Chazarreta et al. (2021). La línea punteada horizontal representa la humedad comercial del 14,5%. (B) Contenido de carbohidratos solubles en tallo (CHST) en R2 y R6 para el mismo híbrido que en (A) creciendo en dos fechas de siembra contrastantes y dos regímenes hídricos en Pergamino durante 2017-2018. En ambas figuras se indican los errores estándar (líneas verticales).

12.5. Principales conceptos prácticos

- El rendimiento potencial del maíz cae con el retraso de la fecha de siembra. Este efecto es mayor cuanto mayor es la latitud
- En sistemas de alta producción (riego y/o suelos profundos, presencia de napa, fertilización, control de adversidades bióticas, cultivares de alto potencial, etc.) el maíz debe ser sembrado en fechas que permitan la ocurrencia de la etapa crítica de floración en momentos de alta radiación incidente, excepto en aquellos ambientes con alta probabilidad de golpe de calor.
- Para reducir los efectos del estrés por déficit hídrico o golpe de calor en el período crítico de floración se recomienda retrasar la fecha de siembra, siempre que las condiciones ambientales de fin de ciclo (e.g. lluvias otoñales abundantes) y las heladas tempranas no afecten en mayor proporción el rendimiento de grano. Adelantar la fecha de siembra también puede resultar en beneficio del rendimiento por 'escape' según las condiciones de cada ambiente.
- Los cultivos de maíz sembrados temprano alcanzan su madurez fisiológica

bajo condiciones ambientales favorables para una rápida pérdida de humedad en los granos, reduciendo los gastos de secado. Además, al anticipar la cosecha, se evitan los inconvenientes de demora de la misma en otoños húmedos.

- En siembras tempranas, las bajas temperaturas de comienzo del ciclo pueden dañar las plántulas, demorar la germinación y dilatar las etapas iniciales del cultivo exponiéndolo al ataque de plagas, enfermedades y a la competencia de las malezas, por lo que es más necesario el empleo de semilla con buen vigor y curada, al igual que un buen control de adversidades bióticas.
- Los retrasos en la siembra pueden requerir ajustes en el manejo del cultivo, como ser la elección de cultivares de ciclo más corto, de secado rápido, tolerantes al vuelco y quebrado, y a enfermedades y plagas, adecuación de la densidad de siembra, entre otras prácticas. Estos ajustes varían en función de la latitud y del ambiente.

12.6. Referencias

- Andrade F.H., S. Uhart, y A. Cirilo. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *F. Crops Res.* 32: 17–25. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90018-I](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90018-I)
- Andrade F.H., Cirilo, A.G., Uhart, S.A., Otegui, M.E., 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Dekalb Press, p. 292.
- Baum M.E., S. Archontoulis y M. Licht. 2019. Planting date, hybrid maturity, and weather effects on maize yield and crop stage. *Agron. J.* 111, 303–313. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.04.0297>
- Bonelli L.E., J. Monzon, A. Cerrudo, R. Rizzalli y F. Andrade. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *F. Crops Res.* 198: 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.003>
- Bonhomme R., M. Derieux y G. Edmeades. 1994. Flowering of Diverse Maize Cultivars in Relation to Temperature and Photoperiod in Multilocation Field Trials. *Crop Sci.* 34: 156–164. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400010028x>
- Borrás L., G. Slafer y M. Otegui. 2004. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *F. Crop Res.* 86: 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>
- Cerrudo D. 2021. Determinación de rendimiento en híbridos de maíz de origen tropical, templado y templado x tropical. Tesis Doctoral. Escuela de Postgrado en Producción Vegetal, Univ. Nacional de Mar del Plata. 119 páginas.
- Chazarreta Y.D., J. Amas y M. Otegui. 2021. Kernel filling and desiccation in temperate maize: Breeding and environmental effects. *F. Crops Res.* 271: 108243. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108243>
- Cirilo A.G. 2001. Maíces tardíos y maíz de segunda. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino. Vol.VI Nro. 18, Segundo Cuatrimestre: Setiembre/Diciembre 2001. Pág. 44-48.
- Cirilo A.G. y F. Andrade. 1994. Sowing date and maize productivity: I.Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34: 1039–1043. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040037x>
- Cirilo A.G. y F. Andrade. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Sci.* 36: 325–

331. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020019x>
- Duncan W., D. Shaver y W. Williams. 1973. Insolation and temperature effects on maize growth and yield. *Crop Sci.* 13: 187–191.
- Ferraris G., 2022. Producción de maíz en un escenario de bajas precipitaciones: ajustes en el manejo y la nutrición [WWW Document]. *Jorn. Actual. Técnica INTA Pergam.* URL https://www.youtube.com/watch?v=bWuYGzGGWu8&t=13998s&ab_channel=INTA-Pergamino
- Florio E.L., J. Mercau, E. Jobbágy y M. Nosetto. 2014. Interactive effects of water-table depth, rainfall variation, and sowing date on maize production in the Western Pampas. *Agric. Water Manag.* 146: 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.022>
- Grassini P., H. Yang y K. Cassman. 2009. Limits to maize productivity in Western Corn-Belt: A simulation analysis for fully irrigated and rainfed conditions. *Agric. For. Meteorol.* 149: 1254–1265. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.02.012>
- Hall A.J., C. Rebella, C. Ghera y J. Culot. 1992. Field-crop systems of the Pampas, in: *Ecosystems of the World.* p. 18.
- Jones C.A. y J. Kiniry. 1986. CERES-Maize. A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Pres, College Station, TX.
- Jones R.J. y R. Simmons. 1983. Effect of Altered Source-Sink Ratio on Growth of Maize Kernels. *Crop Sci.* 23: 129–134. <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300010038x>
- Kiniry J.R. y M.E. Otegui. 2000. Processes Affecting Maize Grain Yield Potential in Temperate Conditions, in: Otegui, M.E., Slafer, G.A. (Eds.), *Physiological Bases for Maize Improvement.* New York, pp. 31–46.
- Knapp W.R. y W. Reid. 1981. Interactions of hybrid maturity class, planting date, plant population, and nitrogen fertilization on corn performance in New York. Ithaca, NY.
- Lawles K., W. Raun, K. Desta y K. Freeman. 2012. Effect of delayed emergence on corn grain yields. *J. Plant Nutr.* 35: 480–496. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.639926>
- Liu W., M. Tollenaar, G. Stewart y W. Deen. 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop Sci.* 44: 847–854. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.8470>
- Maddonni G.A., 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina—a probabilistic approach. *Theor. Appl. Climatol.* 107: 325–345. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0478-9>
- Maddonni G.A. y M.E. Otegui. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *F. Crops Res.* 48, 81–87. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00035-4](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00035-4)
- Mercau J.L. y M.E. Otegui. 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: *Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water.* pp. 351–373. <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel5.c13>
- Mercau J.L., E. Satorre, M. Otegui, G. Maddonni, J. Cárcova, R. Ruiz, M. Uribelarrea y F. Menéndez. 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.
- Nosetto M.D., E. Jobbágy, R. Jackson y G. Sznajder. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Res.* 113: 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.016>
- Otegui M.E. y J. Mercau. 2018. Fecha de siembra y rendimiento de maíz en ambientes con provisión hídrica contrastante de la región central de Argentina. *An. Acad. Nac. Agron. y Vet.* 71: 150–160.
- Otegui M.E., J. Mercau y F. Menéndez. 2002. Estrategias de manejo para la producción de

- maíz tardío y de segunda, in: Satorre, E.H. (Ed.), Guía Dekalb Del Cultivo de Maíz. Dekalb Press, Buenos Aires, Argentina, pp. 171–186.
- Otegui M.E., M. Nicolini, R. Ruiz y P. Dodds. 1995. Sowing Date Effects on Grain Yield Components for Different Maize Genotypes. *Agron. J.* 87: 29–33. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700010006x>
- Otegui M.E., M. Riglos y J. Mercau. 2021. Genetically modified maize hybrids and delayed sowing reduced drought effects across a rainfall gradient in temperate Argentina. *J. Exp. Bot.* 72: 5180–5188. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab139>
- Otegui M.E., R. Ruiz y D. Petruzzi. 1996. Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region. *Field Crops Res.* 47: 167–174. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00031-7](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00031-7)
- Ruget F., 1993. Contribution of storage reserves during grain-filling of maize in Northern European conditions. *Maydica* 38; 51–59.
- Sala R.G., F. Andrade y M. Westgate. 2007. Maize kernel moisture at physiological maturity as affected by the source-sink relationship during grain filling. *Crop Sci.* 47: 711–716. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0381>
- Sinclair T.R. y R. Muchow. 1999. Radiation Use Efficiency. *Adv. Agron.* 65: 215–265. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60914-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60914-1)
- Srivastava R.K., R. Panda, A. Chakraborty y D. Halder. 2018. Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. *F. Crops Res.* 221: 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.019>
- Totis de Zeljkovich L. y C. Rebella. 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. A.I.A.N.B.A., Pergamino, pp. 211–219.
- Tsimba R., G. Edmeades, J. Millner y P. Kemp. 2013. The effect of planting date on maize grain yields and yield components. *F. Crops Res.* 150: 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.028>
- Williams W.P., J. Sagers, J. Hanten, F. Davis y P. Buckley. 1997. Transgenic Corn Evaluated for Resistance to Fall Armyworm and Southwestern Corn Borer. *Crop Sci.* 37: 957–962. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1997.0011183X003700030042X>
- Wilson D.R., R. Muchow y C. Murgatroyd. 1995. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in a cool climate. *F. Crops Res.* 1–18.