

Libros de **Cátedra**

Cereales de verano

María Rosa Simón y Silvina Inés Golik (coordinadoras)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

CEREALES DE VERANO

María Rosa Simón
Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Dedicatorias

A nuestras familias y amigos que constituyen un constante apoyo espiritual en nuestras vidas.
A nuestros alumnos que nos incentivan para continuar profundizando en esta interesante disciplina
y en la apasionante misión de enseñar.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de La Plata, por su apoyo para la realización y publicación de este libro y a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales que es el ámbito en que desarrollamos nuestro curso.

Nuestro especial reconocimiento a los docentes del curso de Cerealicultura, que nos precedieron, que estimularon nuestra vocación docente y nos señalaron el camino a seguir.

A los docentes e investigadores de los que nos hemos nutrido a través de sus publicaciones para completar esta obra.

Índice

| | |
|--|-----|
| PRÓLOGO | 9 |
| Capítulo 1 | |
| Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química | 10 |
| <i>Silvina Golik, Silvina Larran, Guillermo Gerard, María Constanza Fleitas</i> | |
| Capítulo 2 | |
| Maíz: Crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz | 26 |
| <i>Silvina Golik, Matías Schierenbeck, Juan Ignacio Dietz, María Constanza Fleitas</i> | |
| Capítulo 3 | |
| Maíz: Época y densidad de siembra | 41 |
| <i>María Rosa Simón, Matías Schierenbeck, Juan Ignacio Dietz</i> | |
| Capítulo 4 | |
| Maíz: Fertilización y rotaciones | 57 |
| <i>Silvina Golik, María Constanza Fleitas</i> | |
| Capítulo 5 | |
| Maíz: Manejo de enfermedades | 75 |
| <i>María Rosa Simón, Silvina Larran, María Constanza Fleitas</i> | |
| Capítulo 6 | |
| Maíz: Manejo de plagas | 101 |
| <i>María Rosa Simón, Juan Ignacio Dietz, Matías Schierenbeck</i> | |
| Capítulo 7 | |
| Maíz: Manejo de malezas | 133 |
| <i>María Soledad Zuluaga, Silvina Golik, María Constanza Fleitas, Carlos Campanela</i> | |
| Capítulo 8 | |
| Maíz: Zonas de cultivo | 151 |
| <i>Silvina Golik, Matías Schierenbeck, María Constanza Fleitas</i> | |
| Capítulo 9 | |
| Maíz: Usos y comercialización | 177 |
| <i>María Rosa Simón, Guillermo Sebastián Gerard</i> | |

Capítulo 10

Maíz: Objetivos del mejoramiento genético_____ 191

Guillermo Gerard, María Rosa Simón

Capítulo 11

Sorgo: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química_____ 212

Silvina Golik, Silvina Larran, Guillermo Gerard, Juan Pablo Uranga, María Constanza Fleitas

Capítulo 12

Sorgo: Crecimiento y desarrollo_____ 228

Silvina Golik, María Constanza Fleitas

Capítulo 13

Sorgo: Época y densidad de siembra_____ 244

Silvina Golik

Capítulo 14

Sorgo: Fertilización y rotaciones_____ 252

Silvina Golik, María Constanza Fleitas

Capítulo 15

Sorgo: Manejo de enfermedades_____ 260

Silvina Larran, María Constanza Fleitas, María Rosa Simón

Capítulo 16

Sorgo: Manejo de plagas_____ 279

María Rosa Simón

Capítulo 17

Sorgo: Manejo de malezas_____ 284

Soledad Zuluaga, Silvina Golik, María Constanza Fleitas, Carlos Campanela

Capítulo 18

Sorgo: Zonas de cultivo_____ 293

Silvina Golik, María Constanza Fleitas

Capítulo 19

Sorgo: Usos y comercialización_____ 301

María Rosa Simón, Silvina Golik, Guillermo Sebastián Gerard

Capítulo 20

Sorgo: Objetivos del mejoramiento genético_____ 316

María Rosa Simón, Guillermo Gerard

Capítulo 21

Arroz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química_____ 330

Alfonso Vidal

Capítulo 22

Arroz: Crecimiento y desarrollo_____ 341

Alfonso Vidal

Capítulo 23

Arroz: Época y densidad de siembra_____ 352

Alfonso Vidal

Capítulo 24

Arroz: Fertilización y rotaciones_____ 356

Rodolfo Bezus

Capítulo 25

Arroz: Manejo de enfermedades_____ 364

Alfonso Vidal, María Constanza Fleitas

Capítulo 26

Arroz: Manejo de plagas_____ 373

Alfonso Vidal

Capítulo 27

Arroz: Manejo de malezas_____ 380

Rodolfo Bezus

Capítulo 28

Arroz: Zonas de cultivo_____ 392

Alfonso Vidal

Capítulo 29

Arroz: Usos y comercialización_____ 397

Alfonso Vidal

Capítulo 30

Arroz: Objetivos del mejoramiento genético_____405

Alfonso Vidal

Capítulo 31

Análisis comparativo de aspectos morfológicos, fenológicos
y de manejo en los cultivos de maíz, sorgo y arroz_____408

María Rosa Simón, María Constanza Fleitas

Los autores_____427

CAPÍTULO 3

Maíz: época y densidad de siembra

*María Rosa Simón, Matías Schierenbeck
y Juan Ignacio Dietz*

Época de siembra

Al analizarse la factibilidad de un cultivo en una determinada zona, deben considerarse las restricciones y limitantes que el clima y el suelo ejercerán sobre el mismo y adecuar la época de siembra y el ciclo del cultivar de acuerdo a dichas restricciones. Diversos factores inciden en la época de siembra del maíz. El conocimiento de la respuesta del cultivo a la variación de dicha fecha es importante para estimar los efectos que puede causar un retraso de la misma por factores no previstos o una demora planificada. La época de siembra de maíz está condicionada por la fecha media de última helada, la temperatura del suelo, la ubicación del período crítico y del llenado de grano, la oportunidad de cosecha y otros.

El maíz, para su germinación requiere semilla con buen poder germinativo y vigor (esencial en siembras tempranas en directa que se realiza mediante el test de frío), necesita además una temperatura mínima de 8-10°C a profundidad de siembra, por lo que es necesario asegurarse esa temperatura durante tres días seguidos con tres mediciones diarias. La velocidad de elongación de la radícula y el coleoptile es mayor a alrededor de 30°C y cesa a 9 y 40°C (Blacklow, 1972).

Requiere también humedad, que debe verificarse en distintos sectores del lote, ya que una distribución desuniforme del rastrojo puede generar sectores con diferencias importantes en humedad edáfica, generando desuniformidad en la emergencia. Para la germinación la semilla debe absorber un 30 a 40% de su peso en agua. Necesita también que la semilla esté sana o curada con curasemillas para disminuir la incidencia de enfermedades transmisibles por semilla (*Diplodia* spp ; *Fusarium* spp.; *Macrophomina* spp., *Rhizoctonia* spp.) y de plagas como el gusano blanco y las orugas cortadoras.

Es importante además considerar la sembradora, ya que un sistema dosificador neumático permitirá utilizar calibres desparejos, en tanto que en una con placas es necesario considerar la elección de la placa de siembra, adecuada al calibre de la semilla. La profundidad de siembra oscila entre 2,5 y 5 cm, siembras más profundas implican una mayor susceptibilidad a patógenos presentes en el suelo y semillas y una

excesiva elongación del mesocotile que disminuirá la energía para la germinación y el desarrollo de la plántula.

La época de siembra tradicional en la zona núcleo maicera considera el inicio de las siembras a mediados de setiembre, luego de la fecha media de última helada con temperaturas que oscilan entre 14 y 17 °C para ubicar el período crítico con buena radiación y antes de que se produzca el mayor déficit hídrico (que es entre fines de diciembre y principios de enero) debido a la mayor evapotranspiración potencial asociada al incremento en las temperaturas. Esto asegura la fijación de un alto número de granos y la producción de asimilados en la planta para abastecer el llenado de los granos.

Efecto de la fecha de siembra en el crecimiento y desarrollo

Los atrasos en la época de siembra, luego de comienzos de octubre para dicha zona ubican el periodo crítico en enero. Con el atraso en la época de siembra además, las plantas son expuestas a mayores temperaturas y fotoperíodos más largos. Si bien por el fotoperíodo largo, se reduce la tasa de desarrollo, el aumento de temperatura acelera el desarrollo hacia floración. El efecto térmico prevalece sobre el fotoperíodo y la velocidad de desarrollo a floración aumenta cuando la siembra se retrasa (Major *et al.*, 1975, Bonhomme *et al.*, 1994). En la Fig.3.1. se indica cómo evolucionan las variables climáticas en Tres Arroyos en diferentes fechas de siembra. Además, las bajas temperaturas durante el llenado de grano, tienden a alargar dicho período, aunque limitaciones de fuente fotosintética pueden contrarrestar este efecto (Cirilo & Andrade, 1996).

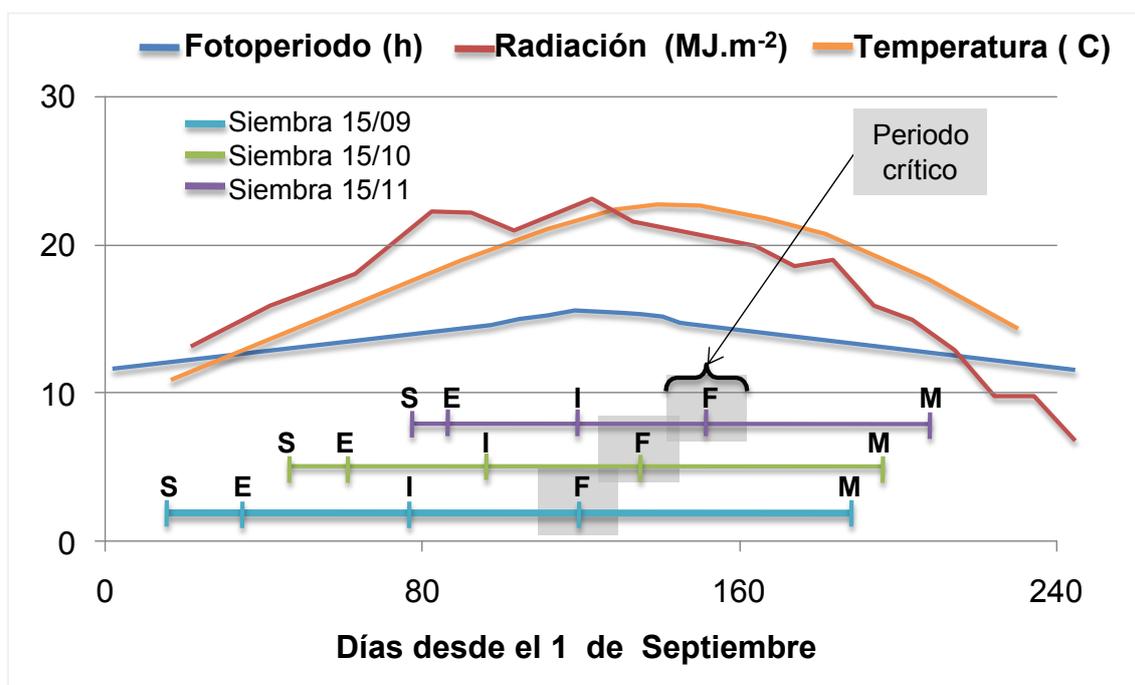


Figura 3.1. Evolución del ciclo de maíces de ciclo intermedio con diferentes fechas de siembra en Tres Arroyos. Fuente: Adaptado de Forján & Manso (2013)

En los maíces sembrados tarde, las mayores temperaturas aceleran la velocidad de aparición y expansión de hojas, permitiendo la instalación de un canopeo capaz de interceptar en forma eficiente la radiación incidente durante la etapa vegetativa. Así, los cultivos demoran 20 a 30 días menos en alcanzar el índice de área foliar crítico que los de siembra temprana, compensando el menor número de días de aprovechamiento de la radiación (Andrade & Cirilo, 2000). Para maíz en Balcarce, la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa durante el período vegetativo se incrementó de 3,3 a 4,2 gr. materia seca. MJ⁻¹ con el atraso de la fecha de siembra de setiembre a diciembre, lo que está asociado con el incremento de la temperatura que condiciona una mayor fotosíntesis (Andrade *et al.*, 1993).

Sin embargo la radiación interceptada por el cultivo a partir de la floración se reduce al atrasar la época de siembra, lo que se hace más evidente a mayores latitudes y cuanto más tardía es la fecha de siembra. Lo mismo sucede en el período de llenado de grano, donde las temperaturas declinantes de las siembras tardías afectan la eficiencia de uso de la radiación. Por lo que siembras tempranas presentan valores de eficiencia de conversión bajos durante la etapa vegetativa y altos durante el llenado de granos, en tanto que los maíces sembrados tarde presentan alta eficiencia de conversión durante la primera etapa y bajas durante el período de llenado. Esto indica que la tasa de crecimiento del cultivo y la biomasa antes de floración aumenta en las siembras tardías, siendo a la inversa luego de la floración (Cirilo & Andrade, 1994a; Andrade & Cirilo, 2000). Asimismo el atraso en la época de siembra produce una aceleración mayor en el crecimiento que en el desarrollo, generando hasta una determinada fecha plantas más altas (Duncan *et al.*, 1973; Cirilo & Andrade, 1994a).

Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento

El atraso en la fecha de siembra desplaza el período crítico hacia momentos con mayor déficit hídrico (cuando la floración cae en enero) por las mayores temperaturas y la floración y llenado de grano coinciden con una menor radiación. Estos efectos se vuelven más notorios a mayores latitudes. El mejor aprovechamiento de la radiación en floración (diciembre) de las siembras tempranas, con elevadas amplitudes térmicas, le permiten al cultivo lograr una alta tasa de crecimiento y fijar un alto número de granos, con un período de llenado que también se produce con alta radiación y buenas temperaturas que conducen a un alto peso de granos, implicando un mayor potencial de rendimiento en siembras tempranas. Además, las siembras tempranas permiten que el cultivo llegue a madurez fisiológica en condiciones de menor humedad ambiental, que favorecen la pérdida de humedad del grano y sin mayores riesgos de heladas tempranas, que puedan producirse antes de la madurez fisiológica. En cambio, las siembras tardías conducen a un menor número de granos por las temperaturas elevadas y menores amplitudes térmicas en la floración (en floraciones de enero) y por menor radiación incidente (Cirilo & Andrade, 1994b). También puede deberse a la gran asignación de recursos a la parte vegetativa (Fisher & Palmer, 1994). Asimismo, el peso de los granos disminuye por la radiación declinante que reduce la duración del llenado por una menor fotosíntesis y menor fuente de asimilados y por las bajas temperaturas que reducen la tasa de llenado (Cirilo & Andrade, 1996).

Criterios actuales de fecha de siembra en maíz

Si bien la época tradicional de siembra de maíz es la de mediados de setiembre a principios de octubre para la zona núcleo maicera, con un retraso hacia el sur y el oeste, actualmente hay un porcentaje importante de siembras muy tardías (diciembre) realizadas con la intención de diversificar la época de siembra. Estos maíces tardíos se siembran en una época posterior a la típica de la zona luego de un prolongado barbecho, a diferencia de los maíces de segunda, que son aquéllos que se siembran luego de un cultivo de invierno para cosecha (trigo, cebada, centeno, legumbres, etc.). Estas siembras tardías se han comenzado a realizar hace algunos años, luego de la aparición de los maíces Bt y otros eventos con resistencia a insectos, dado que con anterioridad en las siembras tardías se producían importantes pérdidas de rendimiento por barrenador del tallo, isoca cogollera e isoca de la espiga. Asimismo, se ha incrementado la variabilidad de las precipitaciones en el mes de diciembre en que se produce la floración de los maíces de siembra temprana en la zona núcleo.

El criterio de la elección de tal época de siembra se basa en la ubicación del período crítico en febrero, en que las precipitaciones tienden a aumentar y la temperatura disminuye causando una menor evapotranspiración potencial y estrés hídrico con respecto a las siembras tempranas cuando en diciembre (período crítico) las precipitaciones son escasas. Estas siembras representan en promedio de varios años una mayor seguridad de cosecha, debido a los años en que en diciembre la cantidad de precipitaciones es escasa y por esa razón se ven perjudicados los cultivos de siembras tempranas. Sin embargo, la radiación en el período crítico en estos cultivos tardíos es declinante y se ven expuestos a los factores ya mencionados durante el llenado de grano. Además, el desplazamiento de la fecha de siembra genera riesgos de heladas tempranas, previo a la madurez fisiológica y dificultades para el secado y la cosecha por la humedad excesiva del otoño. Estos factores condicionan que su rendimiento sea más bajo con respecto a las siembras realizadas en época, en tanto las condiciones ambientales para el crecimiento y desarrollo del cultivo en estas últimas sean las adecuadas.

El atraso en la época de siembra determina también que al momento de la siembra el perfil cuente con una mayor cantidad de agua útil, por un mayor barbecho en meses en que suele haber mayor cantidad de precipitaciones y puede beneficiarse con mayor cantidad de lluvias en marzo para el llenado de grano, en tanto no resulten excesivas. Asimismo como se ha mencionado independiente de la cantidad de lluvias cuando se realizan siembras tardías (diciembre) cae la demanda ambiental y la evapotranspiración potencial en el período crítico disminuye originando un mayor rendimiento con respecto a las siembras tempranas en que en diciembre haya habido escasas precipitaciones (Sackmann, 2010).

El ciclo del maíz se reduce en las siembras tardías y de maíces que pueden tener entre algo menos de 60 y más de 80 días de germinación a floración puede pasar a menos de 60 días para los más largos en siembras de diciembre. Asimismo las temperaturas iniciales son más altas en las fechas de diciembre, haciendo que el período a germinación se acorte y la probabilidad de heladas tardías se reduzca, en tanto que para las fechas tardías es mayor el

riesgo de heladas tempranas en el llenado del grano. El coeficiente fototermal (Q) durante el período crítico también disminuye con el atraso en la época de siembra.

Asimismo, la disponibilidad de N a la siembra es generalmente mayor en siembras tardías, por la mayor temperatura y mayor período de barbecho.

La incidencia de enfermedades también es mayor en siembras tardías, así por ejemplo el mal de Río Cuarto se incrementa porque la población del vector *Delphacodes kuschelli* es mayor en diciembre, de manera que toma a los maíces sembrados en esa época en los estadios iniciales, causando mayor daño y muerte de plantas. También la incidencia de *Exserohilum turcicum* (tizón de la hoja) y *Kabatiella zae* (mancha ocular) es mayor en siembras tardías y también la podredumbre del tallo y de la espiga ocasionadas por *Diplodia maydis*, *Giberella zae*, *Fusarium moniliforme*, *Aspergillus* spp., etc. que afectan especialmente en otoños con alta humedad y precipitaciones, asimismo con estas condiciones puede aparecer brotado, que se castiga en la comercialización como grano dañado. La baja disponibilidad de fuente de asimilados para el llenado de los granos en siembras tardías promueve la removilización de reservas desde la caña, lo que también favorece la incidencia de la podredumbre del tallo y mayor cantidad de plantas volcadas, aumentando las pérdidas de cosecha.

Además, la incidencia del barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*), de la isoca de la espiga (*Heliothis zea*) y la oruga militar tardía o cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se incrementan también en siembras tardías. Así por ejemplo, las poblaciones más prolíficas de *Diatraea saccharalis* se producen hacia fines de enero y febrero (Dagoberto, 1992), de manera que en las siembras tardías toman al maíz cuando aún su tallo no se encuentra lignificado y en un estadio que abarca el período crítico por lo que las pérdidas en rendimiento son mayores que en siembras tempranas. Algo similar ocurre con la isoca de la espiga en que la generación de larvas que se desarrolla en diciembre y enero causa una intensa actividad de adultos en febrero y marzo, afectando en gran medida a los maíces tardíos

Desde la floración en adelante, la caída progresiva en los niveles de radiación incidente diaria en las siembras tardías es más marcada cuanto mayor es la latitud del lugar, acortando la estación de crecimiento para el maíz, y las mermas en rendimiento por retraso de la siembra se hacen más pronunciadas. Mientras que en Pergamino cada demora de un mes en la siembra, entre mediados de setiembre y de enero, produce mermas promedio de 0, 0.6, 1 y 1.3 quintales ha^{-1} por día de retraso, en Balcarce fueron de 0.2, 1.3, 1.4 y 1.6 quintales ha^{-1} , respectivamente (Cirilo & Andrade, 1994b).

Dado que la densidad óptima para un cultivo de maíz varía de acuerdo a la oferta de recursos (de clima y de suelo, naturales o agregados), reduciéndose a medida que empeoran las condiciones de crecimiento, las siembras tardías están asociadas con una menor tolerancia a altas densidades. Las siembras tardías experimentan un mayor crecimiento en los estadios vegetativos y luego exponen su período crítico y llenado de grano a condiciones que resultan adversas, por lo que una alta densidad reducirá su rendimiento. Estas consecuencias serán más notables en mayores latitudes.

Los maíces de segunda tienen el agravante sobre los tardíos de la extracción de nutrientes y agua realizada por el cultivo antecesor. Los efectos negativos del desplazamiento de la floración y el llenado de los granos con el retraso de la siembra serán usualmente mayores, cuanto más largo sea el ciclo del híbrido empleado. En este sentido, el manejo de la densidad de plantas junto a la elección del ciclo del híbrido son dos prácticas que resultará necesario ajustar conjuntamente en siembras de segunda.

Dada la menor expectativa de rendimiento en maíces de segunda, anticipar su siembra es una práctica conveniente que logra adelantar las etapas críticas del cultivo a momentos menos desfavorables. Las prácticas de manejo que permitan adelantar la desocupación del lote (elección del antecesor y su cosecha anticipada) y reducir la demora de la siembra del maíz de segunda (labranza reducida o siembra directa) son estrategias convenientes cuando no existan limitantes hídricas (sequías estacionales) que condicionen dicha anticipación.

Si bien los rendimientos esperables de los maíces de segunda en la zona núcleo maicera son promisorios, especialmente en siembras anticipadas, existen aspectos desfavorables, entre ellos las siembras de segunda tienen dificultades para el secado del grano obligando al gasto del secado artificial. Además, presentan una mayor incidencia de enfermedades y plagas, como el barrenador del tallo, que exige sembrar maíces Bt o metuculoso control con insecticidas.

Densidad de siembra

La densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo para capturar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la utilización de la radiación solar, del agua y los nutrientes. La densidad óptima es aquella que produce el mayor rendimiento, es decir que el agregado de plantas adicionales no incrementa el rendimiento (Fig. 3.2) y la óptima económica tiene en cuenta el costo de la semilla, es decir convendrá aumentar la densidad hasta el punto en que el valor del rendimiento adicional compense el costo del agregado de semilla. En maíz la densidad puede variar entre alrededor de 45.000 y 90.000 o aún más pl. ha^{-1} a la cosecha. Hay una densidad óptima por ambiente y los valores de densidad óptima son mayores a medida que el ambiente mejora. Lo que en un ambiente de altos recursos puede ser óptimo en otro de menos recursos puede ser excesivo.

Además de la densidad también es necesario considerar la uniformidad. Frente a stands desuniformes aumentan las posibilidades de que las plantas encuentren un exceso o un déficit de recursos. Pueden presentarse desuniformidades espaciales o temporales. Fallas en las sembradoras pueden causar una distribución irregular de las plantas en el surco (desuniformidad espacial), en tanto que el pobre contacto suelo/semilla y la mala preparación y/o baja temperatura, el diferente vigor de las semillas, causan variaciones en la emergencia y desarrollo de las plantas (desuniformidad temporal). Algunos autores han encontrado reducciones de rendimiento con el aumento de desuniformidad (Krall *et al.*, 1977, Nielsen, 2001), en tanto que otros no encontraron diferencias (Daynard & Muldoon, 1983; Liu *et al.*, 2004). La ausencia de incrementos de rendimiento por una disminución de la desuniformidad espacial se debería a que el crecimiento adicional de las plantas con más recursos (con menor competencia) es

compensado con el menor crecimiento de las plantas con menos recursos (con mayor competencia). Esta situación se daría cuando ambos grupos de plantas, a pesar de tener distintas tasas de crecimiento por planta, la magnitud del crecimiento se encuentra en la porción más lineal de la relación tasa de crecimiento por planta/número de granos por planta.

En la región pampeana la densidad de siembra ha aumentado considerablemente debido al incremento en las precipitaciones estacionales y al paquete tecnológico junto con la tolerancia de los híbridos modernos ante cambios en la densidad (Andrade & Abate, 2005). El objetivo del manejo de la densidad es lograr la intercepción del máximo de la radiación incidente y obtener altas tasas de crecimiento, especialmente durante el período crítico.

El rendimiento del maíz tiene poca estabilidad frente a variaciones en la densidad de siembra y es muy sensible a la disminución de recursos por planta alrededor de floración, por lo que la densidad de plantas resulta crítica en este cultivo (Andrade *et al.*, 1996) explicado por los limitados mecanismos de compensación del tamaño del área foliar por planta frente a un número reducido de plantas (Cox, 1996, Doebley *et al.*, 1997), la relativa estabilidad de la tasa de expansión foliar y el número de hojas y la baja capacidad de macollaje que exhiben la mayoría de los genotipos mejorados (Doebley *et al.*, 1997). Otros cultivos como el trigo, el girasol o la soja cuentan con recursos como el macollaje, la expansión foliar y las ramificaciones, respectivamente que les permiten modificar sus valores de área foliar en esas situaciones (Vega & Andrade, 2000). Por esta razón, el maíz tiene una importante respuesta al aumento de la densidad incrementando su biomasa por mayor captura de radiación incidente, en tanto el número de plantas no sea superior al que permite interceptar el 95% de la radiación incidente. Incrementos posteriores, ya no mejorarán la producción total de biomasa, ya que el mayor número de plantas será compensado por la disminución en el peso individual de las mismas. Asimismo, el rendimiento también es poco estable ante variaciones en la densidad de plantas comparado con otros cultivos (Cirilo, 2002).

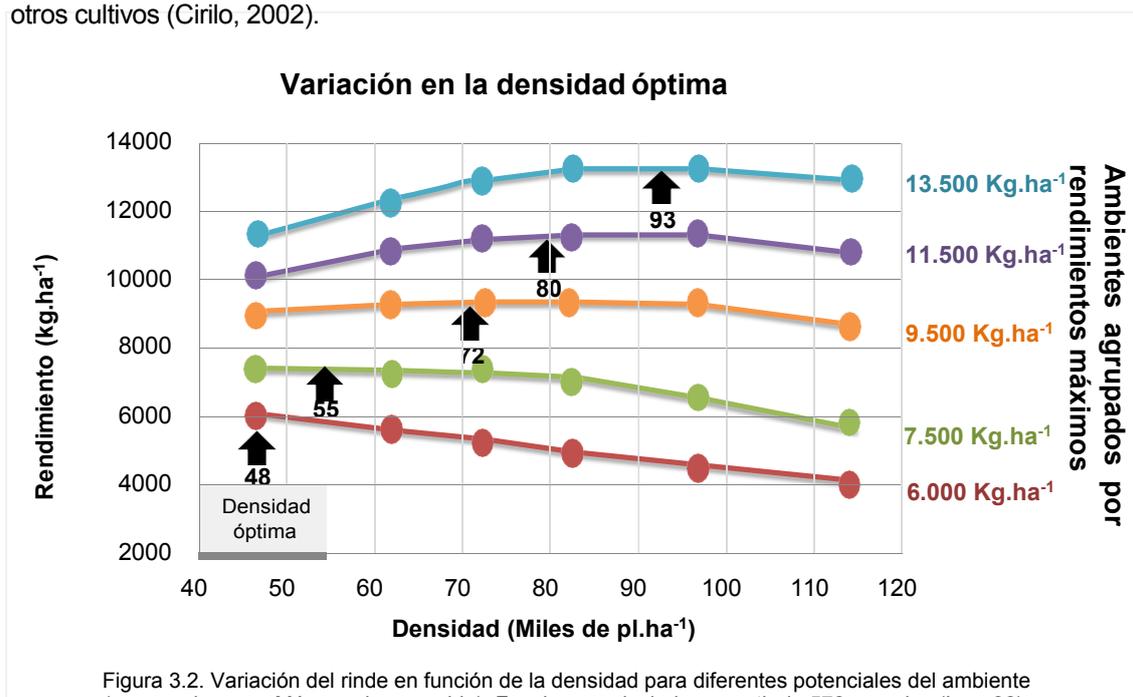


Figura 3.2. Variación del rinde en función de la densidad para diferentes potenciales del ambiente (expresado como Máx. rend. esperable). Funciones calculadas a partir de 578 parcelas (Loc=38). Fuente: Adaptado de Criadero Pioneer (2008)

Incidencia de la densidad de plantas en la producción de materia seca y el rendimiento en grano

La producción de materia seca por unidad de área se incrementa con el aumento en la densidad de plantas siguiendo una relación asintótica, luego de una determinada densidad, el aporte de plantas adicionales se compensa por la reducción en el peso individual de las mismas por incremento de la competencia entre ellas (Andrade *et al.*, 1996) (Fig. 3.3 A y B).

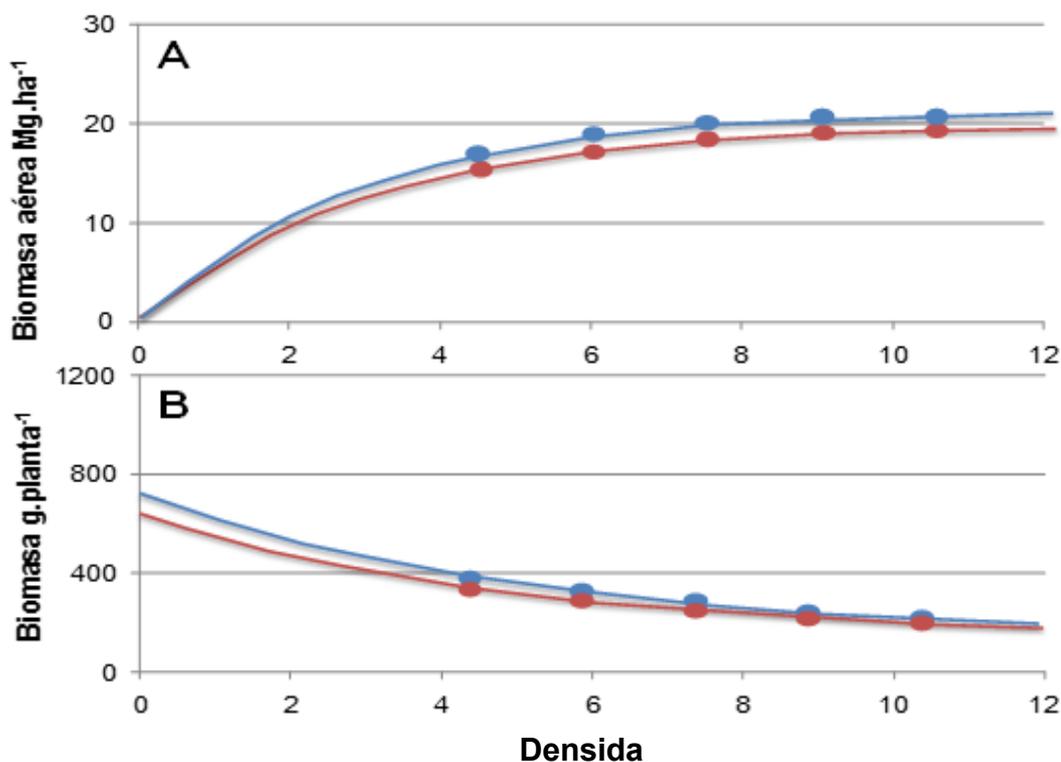


Figura 3.3. **A.** Producción de biomasa aérea total.ha⁻¹ en función de la densidad de plantas. **B.** Producción de materia seca por planta en función de la densidad de plantas Fuente: Adaptado de Cusicanqui & Lauer, (1999) y Overman & Scholtz (2011)

Cuando se producen aumentos en la densidad de plantas, el área foliar por planta disminuye, pero el índice de área foliar del cultivo se incrementa hasta una determinada densidad, ya que la reducción del área foliar de cada planta es de menor magnitud que el aumento en la cantidad de plantas, lo que da mayor cantidad de hojas por unidad de superficie. En cuanto al rendimiento, en tanto el rendimiento por planta disminuye con el aumento de la densidad, el rendimiento del cultivo se incrementa hasta un máximo, a partir del cual los aumentos posteriores en el número de individuos lo reducen marcadamente (Fig.3.4 A). Las reducciones en el rendimiento que se producen en maíz ante cambios en la densidad son mucho más importantes que en cultivos como trigo, girasol o soja (Andrade *et al.*, 1996).

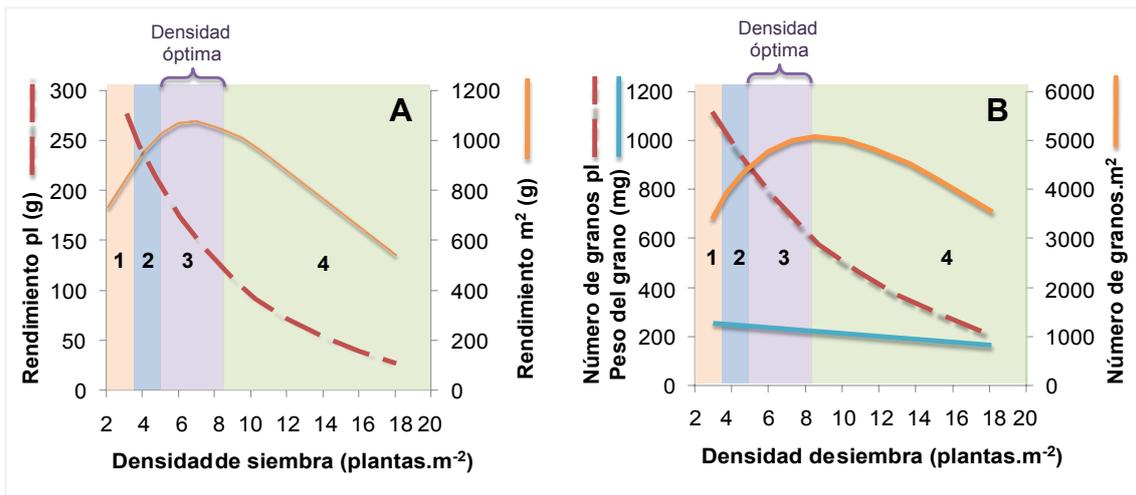


Figura 3.4. **A.** Variación del rendimiento por planta y por unidad de superficie ante cambios en la densidad de siembra. **B.** Variación de los componentes del rendimiento ante cambios en la densidad de siembra. Fuente: Adaptado de Satorre (2008)

El maíz tiene escasa capacidad para diferenciar estructuras reproductivas adicionales frente al incremento en su tasa individual de crecimiento en densidades bajas (Edmeades & Daynard, 1979). También el número de espiguillas por espiga no se incrementa al disminuir la densidad, por lo que en densidades subóptimas, el número de granos puede estar limitado por su capacidad de diferenciar estructuras reproductivas. Los híbridos prolíficos tienen mayor estabilidad en el rendimiento (Prior & Russell, 1975; Andrade *et al.*, 1996). Dichos híbridos tienen mayor capacidad de fijar granos en una segunda espiga. El umbral de tasa de crecimiento por planta para fijar una segunda espiga es alrededor de 6g/día en híbridos poco prolíficos y de 4 g/día en materiales prolíficos (Echarte *et al.*, 1998). Asimismo hay variación entre híbridos actuales y tradicionales en el umbral de tasa de crecimiento para fijar granos (Fig. 3.5 A). Además a medida que disminuye la disponibilidad de recursos por planta por incrementos de la densidad por arriba de un óptimo, hay reducciones marcadas en el número de granos por espiga ante disminuciones en el crecimiento por planta. Esto puede ser el resultado del relegamiento de la espiga en la distribución de asimilados por estar sujeta a la dominancia apical de la panoja (Andrade & Sadras, 2000).

Asimismo, si bien la disminución en la densidad de plantas produce incrementos en el peso del grano, el peso del grano es el componente del rendimiento que menor variación presenta frente a cambios en la oferta de recursos ambientales (Fischer & Palmer, 1984, Kiniry *et al.*, 1990) (Figura 3.4 B).

Cuando la densidad de plantas es superior a la óptima, el maíz puede experimentar importantes reducciones en el rendimiento ya que cae el número de granos por unidad de superficie y también el peso de granos. Las disminuciones en la tasa de crecimiento alrededor de floración, producen marcadas reducciones en el número de granos fijados por planta, que no son compensadas por el aumento en el número de plantas (Andrade *et al.*, 1996).

La reducción en el número de granos se debe tanto al aumento de plantas estériles como a la disminución del número de granos por espiga, discrepando diversos autores en cuanto a la importancia de cada uno de ellos (Daynard & Muldoon, 1983). Las plantas estériles se incrementan al aumentar la densidad por la posición axilar de la espiga que la relegan en la partición de asimilados y la hacen más susceptible a condiciones que provoquen una disminución de recursos por planta, por lo que el maíz necesita un alto valor de biomasa mínima por planta para producir granos (Gardner & Gardner, 1983).

De esta manera la reducción en el número de granos por espiga en densidades altas puede deberse al menor número de flores diferenciadas en la inflorescencia femenina previo a la floración, a una pobre fecundación (por protandria o falta de viabilidad de polen) o al aborto de granos luego de la fecundación (Andrade *et al.*, 1996). Sin embargo el número de flores por espiga es relativamente constante (Otegui, 1995) y el número de granos en la primera espiga alcanza un plateau como resultado de limitaciones en el número potencial de granos por espiga.

Una alta densidad de plantas acentúa la protandria, este efecto se debe a que la aparición de la panoja sufre un ligero retraso, pero la aparición de estigmas se demora más. La reducción del suministro de asimilados por planta que resulta de una baja densidad, produce aborto en el extremo apical de la espiga (Reddy & Daynard, 1983). En general los híbridos prolíficos tienen mayor estabilidad en el número de granos de la espiga superior, por su capacidad de ajuste basada en la pérdida de la segunda espiga (Otegui, 1995). Plantas androestériles o con despanojado manual rinden usualmente más que las androfértiles ante elevadas densidades (Poey *et al.*, 1977, Frugone *et al.*, 1994). La acentuación de la protandria, el aborto de granos apicales en el cuaje en condiciones de alta densidad o estrés son evidencias de la dominancia apical alrededor de floración.

Hay una relación curvilínea entre la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico y el número de granos fijados (Tollenaar *et al.*, 1992, Vega *et al.*, 2000). Si la tasa de crecimiento por planta en floración se aproxima a los umbrales de esterilidad las plantas subordinadas (que son aquellas que frente al incremento en densidad crecen menos) abortan sus espigas (Andrade *et al.*, 1996).

Hay variabilidad genética por tolerancia a altas densidades (Russell, 1986, Andrade *et al.*, 1992) (Figura 3.5 B). Las características que condicionan una mayor tolerancia a altas densidades se asocian con: tener una mayor sincronía floral, una menor jerarquización de tamaños entre plantas, panojas pequeñas, mantener altas tasas de crecimiento por planta en floración en altas densidades, un menor peso umbral de tasa de crecimiento por planta para producir grano a través de una mayor partición de asimilados hacia la espiga, fijar un alto número de granos por unidad de tasa de crecimiento en floración en altas densidades por la mayor cantidad de flores diferenciadas por espiga.

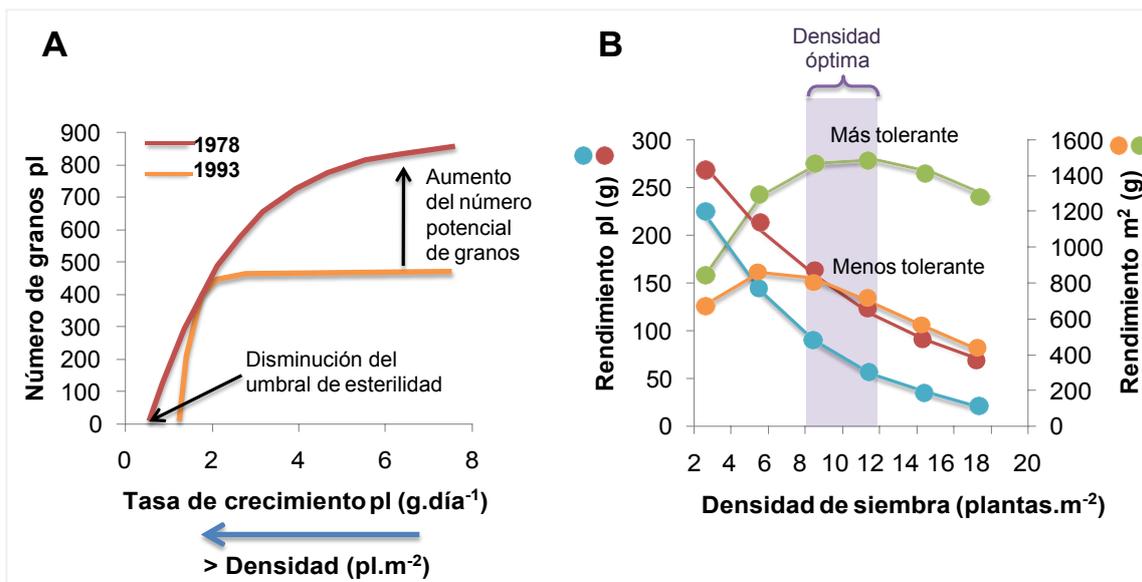


Figura 3.5. **A.** Número de granos por planta en función de la tasa de crecimiento por planta alrededor de floración en dos híbridos de maíz de distinta época de liberación en el mercado argentino. **B.** Rendimiento por planta y por unidad de superficie en función de la densidad de siembra de dos híbridos de maíz con distinto grado de tolerancia a la densidad de siembra. Fuente: Adaptado de Echarte *et al.* (2004) y Pagano & Maddonni (2007)

Pagano & Maddonni (2007) determinaron que existen interacciones genotipo × ambiente para el grado de tolerancia a la densidad de siembra encontrando mayores diferencias en tolerancia en los ambientes de mayor potencialidad.

Factores que modifican la densidad de siembra

Ante escenarios de baja disponibilidad hídrica, una menor densidad de siembra produce un uso conservativo del agua durante el período vegetativo al reducir la cobertura vegetal y dirigir una mayor proporción de radiación hacia la superficie seca del suelo, más resistente a la pérdida de agua que el cultivo (Alessi & Power, 1976), lo que puede aumentar la disponibilidad de agua en etapas reproductivas en aquellos sistemas sometidos a sequías progresivas y severas y que dependen del agua de reserva en el suelo (Andrade & Sadras, 2000).

Igualmente, en buenos ambientes (sin limitantes hídricas y buen manejo nutricional y sanitario) los mayores rendimientos se obtienen con densidades altas. En ambientes pobres, es conveniente utilizar densidades moderadas, porque las pérdidas de rendimiento por el uso de densidades supraóptimas en años secos, es generalmente mayor que el potencial de rendimiento no explotado por utilizar densidades subóptimas en los años de buena disponibilidad hídrica. Cuando los recursos son limitantes, la tasa de crecimiento por planta alrededor de floración es baja y la proporción de plantas con aborto de espigas y granos puede ser alta, por lo que una menor densidad aumenta los recursos por individuo y por lo tanto el número de granos fijados (Andrade & Sadras, 2000).

En cuanto a la fecha de siembra, los retrasos en la misma aceleran más el crecimiento que el desarrollo en etapas vegetativas, lo que origina plantas de mayor tamaño en floración

(Cirilo & Andrade, 1994a). Además el período crítico ocurre en condiciones de menor irradiancia que en las siembras tempranas (Cirilo & Andrade, 1994b) lo que reduce la tolerancia al aumento en la densidad de plantas. Además el período crítico y el llenado de grano pueden coincidir con condiciones ambientales más adversas que en siembras tempranas. Por estas razones, la densidad disminuye al atrasar la época de siembra.

Como se ha señalado previamente los cultivares también manifiestan variabilidad para tolerancia a altas densidades y en general híbridos de ciclo corto que tienen menor área foliar, presentan densidades óptimas más altas.

Distanciamiento entre hileras

El menor distanciamiento entre hileras (52 cm en lugar de 70 cm) permite una mayor equidistancia en la distribución de las plantas y permite cubrir mejor el suelo e interceptar la radiación desde etapas tempranas del cultivo aumentando la biomasa (Andrade *et al.*, 1996; Cirilo, 2000). En densidades bajas, la reducción de la distancia entre surcos contribuye a asegurar una mayor cobertura en floración. Al reducirse la superposición de hojas sobre el surco, el área foliar mejora su eficiencia de cobertura y se reduce la cantidad necesaria para máxima interceptación de la radiación (Flénet *et al.*, 1996; Maddoni *et al.*, 2001). Sin embargo en la mayoría de los cultivos de maíz bien manejados y con densidades correctas y más aún en planteos de alta producción, se alcanzan las coberturas necesarias para la máxima interceptación de la radiación antes del inicio del período crítico de floración independientemente del espaciamiento entre los surcos. Por esa razón, las ventajas de reducir la distancia entre surcos por debajo de 70 cm resultan de reducida magnitud o inconsistentes (Cirilo, 2000).

Sin embargo en condiciones en que el estrés hídrico en el período reproductivo, el principal factor determinante de la respuesta al acortamiento de la distancia entre hileras es la cobertura que el cultivo alcanza en el período crítico. Cuando el cultivo sembrado a 70 cm no alcanza a interceptar el 95% de la radiación incidente en dicho período, es probable que el rendimiento se incremente con una reducción de la distancia entre hileras.

Así por ejemplo, las siembras muy tempranas, la siembra directa, la utilización de híbridos de ciclo corto y erectos pueden producir plantas más pequeñas y/o de poca cobertura, por lo que es más probable encontrar respuestas a un menor distanciamiento entre hileras (Andrade *et al.*, 1996). Igualmente cultivos que se desarrollen con deficiencias tempranas de agua o nutrientes o que hayan sufrido heladas en las primeras etapas del cultivo pueden presentar baja cobertura en el período crítico, por lo que se esperan respuestas positivas a la reducción en el distanciamiento entre hileras.

La mayor cobertura por el follaje lograda con un menor espaciamiento entre hileras disminuye la evaporación de agua del suelo, el escurrimiento superficial y la erosión, pero aumenta la eficiencia de interceptación de radiación y puede incrementar la evapotranspiración en la etapa vegetativa, haciendo más severos los efectos de una sequía progresiva en el período crítico (Vega & Andrade, 2000).

También los cultivos de segunda, especialmente en siembras muy tardías con reducción en la densidad pueden responder positivamente a la reducción de la distancia entre hileras por esa menor densidad y las limitantes hídricas y nutricionales. Sumado a esto, la utilización de híbridos de ciclo corto puede conducir a una mejor respuesta a la siembra en surcos estrechos (Cirilo, 2000).

La siembra en surcos estrechos puede además contribuir favorablemente al control de malezas en el entresurco, al anticipar la cobertura del suelo, limitando el crecimiento de las malezas por sombreado (Murphy *et al.*, 1996). Esto puede reducir el costo de control químico de las malezas (Mickelson & Renner, 1997).

Bibliografía

- Alessi J. & Power J.F. (1976). *Water use by dryland corn as affected by maturity class and plant spacing*. Agronomy Journal 68:547-550.
- Andrade F.H., Margiotta F., Martinez R., Heiland P., Uhart S.A., Cirilo A.G. & Frugone M. (1992). *Densidad de plantas en maíz*. Boletín Técnico N°108. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. 32pp.
- Andrade F.H., Uhart S.A. & Cirilo A.G. (1993). *Temperature affects radiation use efficiency in maize*. Field Crops Research 32:17-25.
- Andrade F.H., Cirilo A.G., Uhart S.A. & Otegui M.E. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa. 292 pp.
- Andrade F.H., Aguirrezabal L.A. & Rizzalli R.H. (2000). *Crecimiento y rendimiento comparados*. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade & V.O. Sadras (Eds.). Editorial Médica Panamericana S.A. pp. 57-96.
- Andrade F.H. & Cirilo A.G. (2000). *Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos*. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade & V.O. Sadras (Eds.). Editorial Médica Panamericana S.A. pp. 137-156.
- Andrade F.H. & Abate P.E. (2005). *Response of maize and soybean to variability in stand uniformity*. Agronomy Journal 97:1263-1269.
- Blacklow W.M. (1972). *Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of Corn (Zea mays L.)* Crop Science 12:647-650.
- Bonhomme R., Derieux M., Edmeades G.O. (1994). *Flowering of diverse maize cultivars in relation to photoperiod in mullocation field trials*. Crop Science 34: 156-164.
- Cirilo A.G. & Andrade F.H. (1994a). *Sowing date and maize productivity: I. Crow growth and dry matter partitioning*. Crop Science 34:1039-1043.
- Cirilo A.G. & Andrade F.H. (1994b). *Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination*. Crop Science 34:1044-1046.
- Cirilo A.G. & Andrade F.H. (1996). *Sowing date and kernel weight in maize*. Crop Science 36:325-331.

- Cirilo A.G. (2000). *Distancia entre surcos en maíz*. Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino 4:19-23.
- Cirilo A.G. (2002). *Criterios para la elección de la densidad y distribución de plantas en el cultivo de maíz*. En: *Guía Dekalb del cultivo de maíz*. E. Satorre (Ed.). pp.44-55.
- Claasen M.M. & Shaw R.H. (1970). *Water deficit effects on corn. II Grain components*. Agronomy Journal 64:652-655.
- Cox W.J. (1996). *Whole plant physiological and yield responses of maize to plant density*. Agronomy Journal 88:489-496.
- Cusicanqui J.A. & Lauer J.G. (1999). *Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality*. Agronomy Journal 91:911-915.
- Dagoberto E. (1992). *Barrenador del tallo de maíz, Diatraea saccharalis F.* En : *Manejo integrado de plagas del maíz*. Cuaderno de actualización Técnica N 42. AACREA Buenos Aires. pp. 83-86.
- Daynard T.B. & Muldoon J.F. (1983). *Plant to plant variability of maize plants grown at different densities*. Canadian Journal of Plant Science 63:45-59.
- Doebley J.A., Stec A. & Hubbard L. (1997). *The evolution of apical dominance in maize*. Nature 386:485-488.
- Duncan W.G., Shaver D.L. & Williams W.A. (1973). *Insolation and temperature effects on maize growth and yield*. Crop Science 13:187-191.
- Edmeades G.O. & Daynard T.B. (1979). *The development of plant to plant variability in maize at different planting densities*. Canadian Journal of Plant Science 59:561-576.
- Echarte L., Vega C.R., Andrade F.H. & Uhart S.A. (1998). *Kernel number determination in Argentinian Maize Hybrids releases during the last three decades*. En: Taller Internacional. Bases fisiológicas para el mejoramiento del maíz. M.E. Otegui & G.A. Slafer (Eds.). Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. pp. 102-103.
- Echarte L., Andrade F.H., Vega C.R. & Tollenaar M. (2004). *Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and (1993)*. Crop Science 44:1654-1661.
- Ferraris G.N. & Couretot L.A. (2014). *Caracterización y evaluación comparativa de cultivares de maíz en la localidad de Colón (BS AS)*. CAMPAÑA 2013/14. Revista Agromercado N°181.70pp.
- Flenet F., Kiniry J.R., Board J.E., Westgate M.E. & Reicosky D.C. (1996). *Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower*. American Society of Agronomy 88:185-190.
- Fischer K.S. & Palmer F.E. (1984). *Tropical maize*. En: The physiology of tropical field crops. P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.). pp. 213-248.
- Forjan H. & Manso L. (2013). *Maíz: Analizando el momento de sembrar*. Revista Agro Barrow. INTA Barrow 53:4-6.
- Frugone M.I. (1994). *Efecto del despanojado sobre la tolerancia de dos híbridos de maíz a la alta densidad poblacional*. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 67 pp.

- Gardner W.R. & Gardner H.R. (1983). *Principles of water management under drought conditions*. *Agricultural Water Management* 7:143-155.
- Kiniry J.R., Wood C.A., Spanel D.A. & Bockholt A.J. (1990). *Seed weight response to decreased seed number in maize*. *Agronomy Journal* 54:98-102.
- Krall J.M., Esechie H.A., Raney R.J., Clark S., TenEyck G., Lundquist M., Axthelm L.S., Dayton A.D & Vanderlip R.L. (1977). *Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield*. *Agronomy Journal*. 69:797-799.
- Liu W., Tollenaar M., Stewart G. & Deen W. (2004). *Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence*. *Crop Science* 44:847-854.
- Maddoni G.A., Otegui M.E. & Cirilo A.G. (2001). *Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize architecture and light attenuation*. *Field Crop Research* 71:183-193.
- Major D., Johnson D., Tanner J. & Anderson I. (1975). *Effects of daylength and temperature on soybean development*. *Crop Science* 15:174-179.
- Mickelson J.A. & Renner K.A. (1997). *Weed control using reduced rates of postemergence herbicides in narrow and wide row soybeans*. *Journal of Production Agriculture* 10:431-437.
- Murphy S.D., Yakubu Y., Weise S.F. & Swanton C.J. (1996). *Effect of planting patterns and inter-row cultivation on competition between corn and late emerging weeds*. *Weed Science* 44:856-870.
- Nielsen R.L. (2001). *Stand establishment variability in corn*. Purdue University, Dept. of Agronomy Publication 9. 20pp.
- Otegui M.E. (1995). *Prolificacy and grain yield components in modern Argentinean maize hybrids*. *Maydica* 40:371-376.
- Overman A.R. & Scholtz R.V. (2011). *Model of Yield Response of Corn to Plant Population and Absorption of Solar Energy*. *PLoS ONE*, 6, e16117. doi:10.1371/journal.pone.0016117
- Pagano E. & Maddoni G.A. (2007). *Intra-specific competition in maize: Early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking*. *Field Crops Research* 101:306-320.
- Pioneer. (2008). *Respuesta de híbridos de maíz a la densidad de plantas según ambientes*. Boletín Técnico de Pioneer. Buenos Aires, Argentina. 4 pp.
- Poey F.R., Grajeda J.E., Fernandez O.J. & Soto F. (1977). *Effect of detaseling on maize grain yield components*. *Agronomy Abstract*. pp.44.
- Prior C.L. & Russell W.A. (1975). *Yield performance in non prolific and prolific maize hybrids at six plant densities*. *Crop Science* 15:482-486.
- Reddy V.M. & Daynard T.B. (1983). *Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn*. *Maydica* 28:339-355.
- Russell W.A. (1986). *Contribution of breeding to maize improvement in the United States, 1920s- 1980s*. *Iowa State Journal Research* 61:5-34.
- Sackmann M.(2010). *Maíz tardío y de segunda*. Boletín técnico N° 14 Dekalb. 12 pp.
- Satorre E. (2008). *Estructura espacial: respuesta del cultivo a la densidad, distancia entre hileras y uniformidad*. En *Producción de Maíz*. E. Satorre (Ed.). pp. 25-41.

- Tollenaar M., Dwyer L.M. & Stewart D.W. (1992). *Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario*. Crop Science 32:432-438.
- Vega C.R. & Andrade F.H. (2000). *Densidad de plantas y espaciamento entre hileras*. En: *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. F.H. Andrade & V.O. Sadras (Eds.). Editorial Médica Panamericana S.A. pp. 97-133
- Vega C.R., Andrade F.H., Sadras V.O. & Uhart S. (2000). *Seed number as a function of growth a comparative study in soybean, sunflower and maize*. Crop Science 41:748-754.