

*Guía
Dekalb
del cultivo
de Maíz*



DEKALBRINDE

Prólogo <i>Pablo A. Vaquero</i>	6
---------------------------------	---

Introducción

El cultivo de Maíz como oportunidad para la sustentabilidad de la agricultura y sus empresas. <i>Emilio H. Satorre</i>	8
---	---

El establecimiento del cultivo

Bases funcionales de la producción del cultivo de Maíz. Su aporte a la agricultura sostenible. <i>Fernando H. Andrade</i>	13
Criterios para la elección de híbridos de Maíz y su fecha de siembra. <i>Julio Lieutier</i>	23
Avances biotecnológicos en Maíz. <i>Alejandro Mentaberry y Sergio Ghio</i>	35
Criterios para la elección de la densidad y distribución de plantas en el cultivo de Maíz. <i>Alfredo G. Cirilo</i>	43

El Maíz y el ambiente en sistemas de Producción (I)

Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de Maíz. Aproximaciones zonales. <i>Fernando O. García</i>	57
El Maíz, la rotación en siembra directa y su aporte a la sustentabilidad. <i>César Belloso</i>	77
Dinámica de los rastrojos en el suelo. La contribución del cultivo de Maíz. <i>Alejandro Morón</i>	83

El Maíz y el ambiente en sistemas de Producción (II)

Estrategias y cambios en la protección del cultivo

La problemática de enfermedades en Maíz. El análisis desde el mejoramiento genético. <i>Guillermo Eyherabide y Daniel Presello</i>	99
Plagas del Maíz y su control integrado. <i>Jorge Aragón</i>	117
Manejo de resistencia de insectos en maíces Bt. <i>Cecilia Roca</i>	135
¿Qué es MaízGard? <i>Monsanto Argentina</i>	141
Malezas, su manejo y control. <i>Sergio Cepeda y Antonio Rossi</i>	159

Tecnologías especiales y la producción de Maíz

Estrategias de manejo para la producción de Maíz tardío y de segunda. <i>María E. Otegui, Jorge L. Mercau y Fernando J. Menéndez</i>	171
El Maíz para silaje de planta entera. <i>José Luis Suppich</i>	187
Agricultura de precisión aplicada al cultivo de Maíz. <i>Mario Bragachini, Axel von Martini, Andrés Méndez</i>	195
Modelos de simulación y aplicaciones de herramientas informáticas para el manejo del cultivo. <i>Jorge L. Mercau</i>	203

El papel del Maíz en los planteos de producción zonales

Modelos de producción de Maíz en la región de la Pampa Arenosa. <i>Gustavo A. Duarte</i>	219
El lugar del Maíz en la zona Núcleo y en el Oeste. <i>Fernando Solari</i>	231
El papel del Maíz en los planteos de producción del Sur de Córdoba. "Crecer de la mano de la agricultura". <i>Gabriel Tellería</i>	247
El rol del Maíz en la zona Mar y Sierras. <i>Pablo Calviño</i>	253
El papel del Maíz en los planteos de producción del Litoral. <i>Guillermo Bernaudo</i>	259
El Maíz en los planteos productivos del NOA. <i>Angel Romano</i>	269

Mercado de Maíz

Perspectivas del mercado mundial de commodities agrícolas. Una visión hacia el 2011. <i>Pablo Adreani</i>	281
---	-----

Sobre los autores	289
-------------------	-----

María E. Otegui.

Jorge L. Mercáu

y Fernando J. Menéndez

Estrategias

de manejo para la producción

de Maíz tardío y de segunda

Departamento de Producción Vegetal,

Facultad de Agronomía UBA

1 ¿Por qué Maíz tardío o de segunda?

Las razones por las cuales incluir Maíz en una rotación son numerosas e independientes de su época de siembra, aunque con seguridad en este momento ninguna se relaciona con una ventaja económica (la rentabilidad de este cultivo estival es actualmente inferior a la de la Soja; ver Lieutier en este libro). ¿Cuáles son entonces las principales razones por las cuales sostener al Maíz en la rotación?:

- ◆ Un elevado aporte de rastrojo. Con un índice de cosecha cercano a 0.5, este cultivo deja en superficie un volumen de biomasa equivalente al rendimiento en grano (10.000 kg/ha de rendimiento en grano = 10.000 kg/ha de rastrojo en superficie).

- ◆ Un importante y profundo sistema radical, que contribuye a mejorar la estructura y drenaje del suelo. Las raíces también representan una proporción de toda la biomasa producida, que en este cultivo es la mayor entre todos los de grano más difundidos.

- ◆ Distribuir los riesgos asociados a la producción entre distintos cultivos estivales, especialmente en secano.

Además de estos puntos, válidos para cualquier Maíz, ¿qué razones adicionales son atendibles para considerar el cultivo tardío (= aquel que no sucede a un cultivo invernal) o de segunda de esta especie en regiones donde se puede sembrar 'de primera' (es decir en Septiembre-Octubre según el régimen de heladas)?

La principal razón es que hoy se ha minimizado uno de los principales condicionantes del rendimiento en los sistemas de producción de cultivos de Maíz en fechas tardías: las plagas, principalmente el "barrenador del tallo" (*Diatraea saccharalis*, F.). Tanto el sistema de control de la plaga mediante la aplicación de insecticidas, basado en un sistema de alarma (Iannone, 2001), como la disponibilidad de híbridos de Maíz con la incorporación del gen Bt han permitido a los productores reducir en forma eficaz el efecto negativo de los ataques de barrenador en los últimos años. Este nuevo escenario tecnológico permite el análisis de algunas inquietudes que frecuentemente se plantean durante la época de siembra de cultivos estivales:

Cuando la siembra del Maíz de primera se atrasa (ej. por exceso o falta de lluvias) y se llega al mes de Noviembre, en que debe comenzar la siembra de Soja, ¿conviene terminar de sembrar el Maíz o empezar con la oleaginosa y dejar lo que resta de Maíz para una siembra en Diciembre?



Cuando la escasez de agua produce resultados erráticos en las siembras tempranas o directamente las imposibilita, o donde un antecesor verdeo de invierno no permite sembrar temprano para ubicar la floración antes del período estival de más déficit hídrico, ¿qué rendimiento de Maíz se puede esperar por atrasar la siembra?

Cuando se está sembrando Soja de segunda y se ingresa en la segunda quincena de Diciembre: ¿conviene continuar sembrando Soja o pasar a Maíz?

En este capítulo presentaremos algunos elementos de análisis para asistir en la toma de decisiones referidas a estas preguntas. Todos los resultados que se discutirán, tanto experimentales como simulados, corresponden a maíces libres de insectos, enfermedades y malezas.

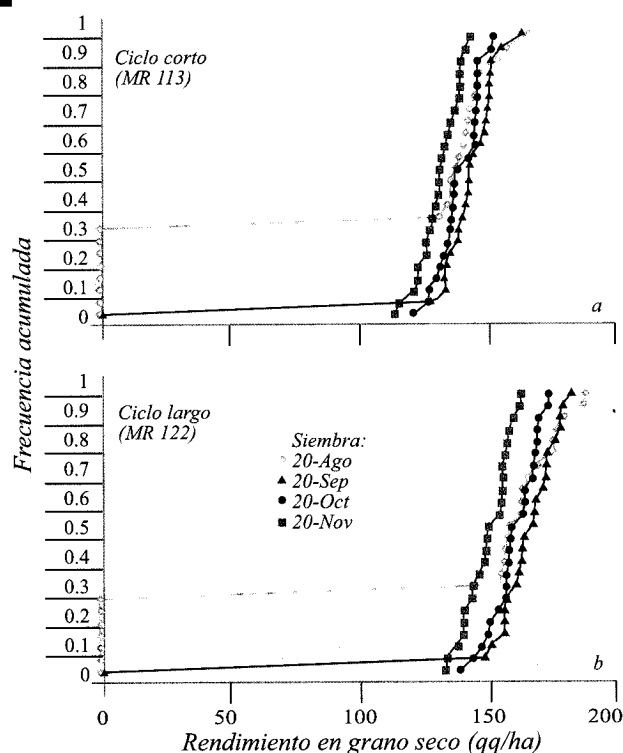
2 Rendimiento potencial: ¿Cuánto se pierde al atrasar la fecha de siembra?

En capítulos previos se han definido las condiciones de producción que permitirían maximizar el rendimiento del cultivo de Maíz, especialmente cuando no existen limitaciones hídricas ni nutricionales severas. Sin embargo, los planteos agropecuarios suelen tener como objetivo maximizar el beneficio anual por unidad de superficie, independientemente del número de cultivos y el rendimiento individual de cada uno de ellos. Así, los rendimientos potenciales del cultivo de Trigo en el Norte de la provincia de Buenos Aires pueden ser inferiores a los de otras regiones (ej. el Sudeste bonaerense), pero la posibilidad de efectuar dos culturas al año (Trigo/Soja de segunda) muchas veces ha sobrecompensado esta diferencia.

Para definir las ganancias y pérdidas del sistema, el primer paso consiste en establecer la pérdida esperable de rendimiento potencial del Maíz en la zona por el atraso en la fecha de siembra. Para esto podemos valernos de los resultados de experimentos a campo y utilizar los conceptos simples discutidos en otras secciones (Rendimiento = radiación incidente x eficiencia de intercepción x eficiencia en el uso de la radiación x índice de cosecha), pero aplicándolos a una serie de datos climáticos para obtener una respuesta que nos permita cuantificar el efecto de la variabilidad interanual (gráfico 1).

Frecuencia acumulada de rendimientos de Maíz, estimados en función de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y de un índice de cosecha constante, utilizando 24 años de datos climáticos del INTA Pergamino. (a) ciclo corto, (b) ciclo largo. MR: madurez relativa indicada por el semillero. Los años con rendimiento = 0 para siembras de Agosto indican la pérdida del cultivo por una helada tardía. Adaptado de Otegui et al. (1996b).

Gráfico 1



Para una zona como Pergamino, trabajando en suelos poco deteriorados, el rendimiento potencial del Maíz se maximiza al adelantar la época de siembra hasta Septiembre, con rendimientos medios mayores a 160 qq de grano seco por hectárea con híbridos de madurez relativa (MR) 120-125. En siembras más tempranas (fin de Agosto) las heladas tardías pueden implicar la pérdida del cultivo un 30% de los años. Los mayores rendimientos de las siembras tempranas se deben a una mayor cantidad total de radiación capturada por el canopeo (Otegui et al., 1995). Las diferencias entre fechas, sin embargo, no son tan importantes como consecuencia del aprovechamiento diferencial de la radiación incidente. Con siembras de fin de Noviembre e híbridos de ciclo completo protegidos de insectos se logran rendimientos medios superiores a los 130 qq/ha. La razón de este comportamiento relativamente poco contrastante entre fechas en esta región radica en dos aspectos: la forma en que el cultivo hace aprovechamiento de la radiación y las temperaturas. Aunque las siembras tempranas presentan la mayor cantidad de radiación solar capturada al final del ciclo, su aprovechamiento del recurso

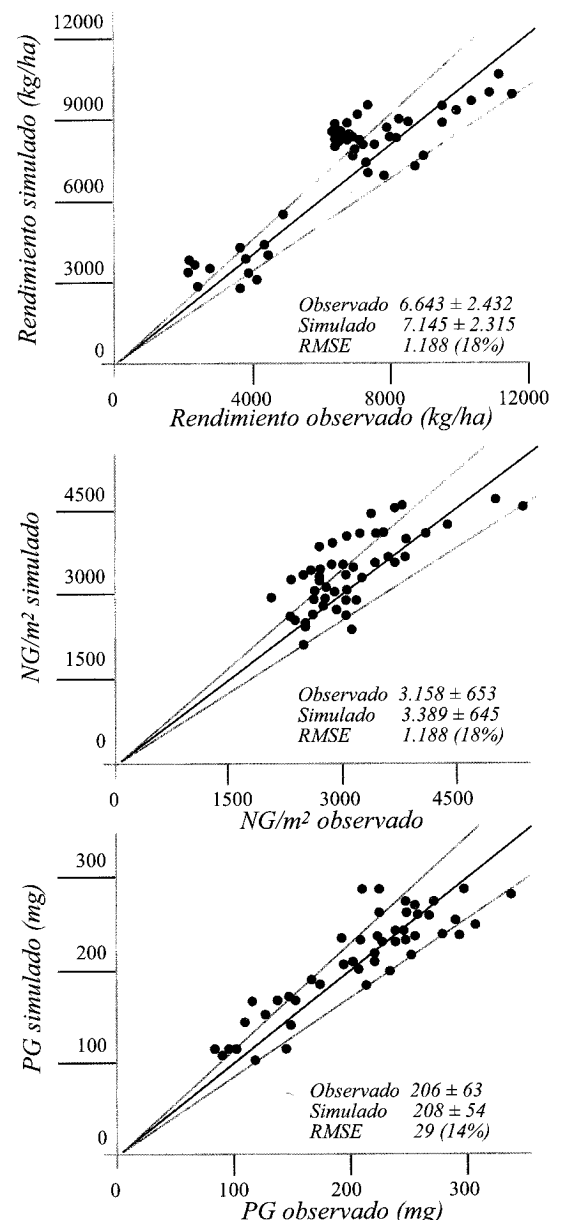
luz del sistema es malo. En estas siembras se verifican las mayores pérdidas de captación de luz (Otegui et al., 1996a), debido al crecimiento inicial más lento del cultivo asociado a las temperaturas frescas. En siembras más tardías la cobertura del terreno es rápida y permite lograr velozmente altos niveles de intercepción y disminuir la cantidad de radiación no interceptada. Aunque parte del comportamiento 'desfavorable' de las siembras tempranas se puede compensar con un aumento de la densidad de plantas y/o el acercamiento de hileras (Mad-donni et al., 2001; Cirilo, 2001), estas estrategias tienen un límite, especialmente la primera. A estas condiciones relativas al crecimiento inicial del cultivo se agrega el hecho de que las temperaturas y la radiación no caen tan abruptamente en Febrero-Marzo en esta zona, asegurando condiciones no tan desfavorables para el llenado de los granos como las que se verifican a mayores latitudes (ver más adelante).

3 Fecha de siembra y rendimientos alcanzables: ¿cómo evaluarlos?

El esquema conceptual propuesto para estimar el rendimiento potencial no nos permite predecir los rendimientos alcanzables en una zona. Estos rendimientos no sólo dependen de los factores definitorios (radiación solar, temperatura, CO₂ y genotipo) que controlan al rendimiento potencial, sino también de los factores limitantes (agua y nutrientes). Consecuentemente, las múltiples interacciones que se establecen entre factores hacen necesario el uso de modelos más complejos que las simples relaciones basadas en la intercepción de luz, la eficiencia en el uso de la radiación y el índice de cosecha.

Con el fin de analizar los rendimientos alcanzables con maíces tardíos y de segunda se utilizó un Modelo de Simulación Agronómico (MSA), el GECER980 incluido en la versión 3.5 del Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT; Jones et al., 1998). Este modelo ya había sido evaluado con resultados satisfactorios para describir el rendimiento de cultivos de Maíz en secano en siembras convencionales para la zona Norte de la provincia de Buenos Aires (Mercau et al., 2001).

El primer paso en este caso fue establecer su capacidad para predecir el comportamiento de siembras tardías. Para ello se utilizó una serie de ensayos conducidos en la Estación Experimental INTA Pergamino (A. Cirilo y M. Otegui, com. pers.), sobre suelo serie Pergamino (fase ligeramente erosionada) y sin limitaciones hídrico-nutricionales. Se evaluó un total de 48 situaciones de cultivo, provenientes de (a) cuatro campañas (96/97, 97/98, 98/99 y 00/01), (b) siembras entre el 31-Octubre (campaña 2000/2001) y el 25-Enero (campaña 1997/1998), (c) híbridos DK639, DK664, DK752, DK757, DK765 y C280, de los cuales se contaba con información suficiente para confeccionar los coeficientes genéticos necesarios para correr el modelo, y (d) densidades de siembra entre 50.000 y 80.000 plantas/ha. Sólo se incluyeron datos de experimentos donde no se registró vuelco y en los cuales las parcelas estaban protegidas de insectos, pues estos aspectos no son contemplados por el MSA.



Gráfico

2

Relación entre los valores simulados y observados de rendimiento en grano, número de granos m⁻² (NG/m²) y peso del grano (PG). La línea verde corresponde a la relación 1:1 y las naranjas a un desvío de $\pm 15\%$. RMSE: raíz del cuadrado medio del error.

Los rendimientos observados para el conjunto de 48 situaciones oscilaron entre 2.180 y 11.540 kg/ha (con 14% de humedad) y pudieron ser predichos aceptablemente por el modelo (gráfico 2), al igual que los componentes del mismo (NG/m^2 = número de granos/ m^2 , PG = peso del grano). La buena estimación de los componentes del rendimiento aumenta la confiabilidad del MSA para la evaluación de estrategias de producción, ya que sugiere una buena ponderación del efecto de distintos factores de estrés a lo largo del ciclo del cultivo.

También se pudo analizar la respuesta a la densidad de plantas (gráfico 3), pudiéndose comprobar que (a) no existió una tendencia clara a la variación de este parámetro entre 50.000 y 80.000 plantas/ha en siembras tardías cuando no hubo deficiencias hídrico-nutricionales, y (b) el modelo fue capaz de simular correctamente el comportamiento observado a campo.

4

Rendimientos alcanzables con maíces tardíos y de segunda en Pergamino

4.1 Definición del escenario de análisis

◆ Con estos elementos de juicio sobre el ajuste del MSA se evaluaron los rendimientos esperables (= en seco) en maíces tardíos y de segunda para la zona de Pergamino. Se establecieron los siguientes criterios:

◆ **Escenario climático:** 30 campañas (1971 a 2000) correspondientes a lo que se considera un período húmedo del clima pampeano.

◆ **Fechas de siembra:** cada 10 días entre el 1° de Diciembre y el 10 de Enero.

◆ **Densidad:** 65.000 plantas/ha (logradas).

◆ **Suelo:** serie Pergamino (Argiudol típico), con 2.5% de materia orgánica, una profundidad de 180 cm y un contenido de agua útil (AU) de 256 mm en esa profundidad.

◆ **Híbridos:** DK752 (MR125) y DK664 (MR116).

◆ **Agua inicial:** se definieron dos situaciones hídricas a la siembra del Maíz, que representarían la condición esperable a partir de un cultivo antecesor de Trigo. En la situación definida como perfil seco se partió de un contenido de agua útil a la siembra de 30% en todos los horizontes del perfil hasta 1 m de profundidad. En la situación de perfil húmedo los primeros 60 cm del perfil están a capacidad de campo (CC) y el resto (60 a 100 cm) con 30% de agua útil (AU), situación equivalente a la ocurrencia de precipitaciones que permiten la recarga de los horizontes superficiales antes de la siembra del Maíz.

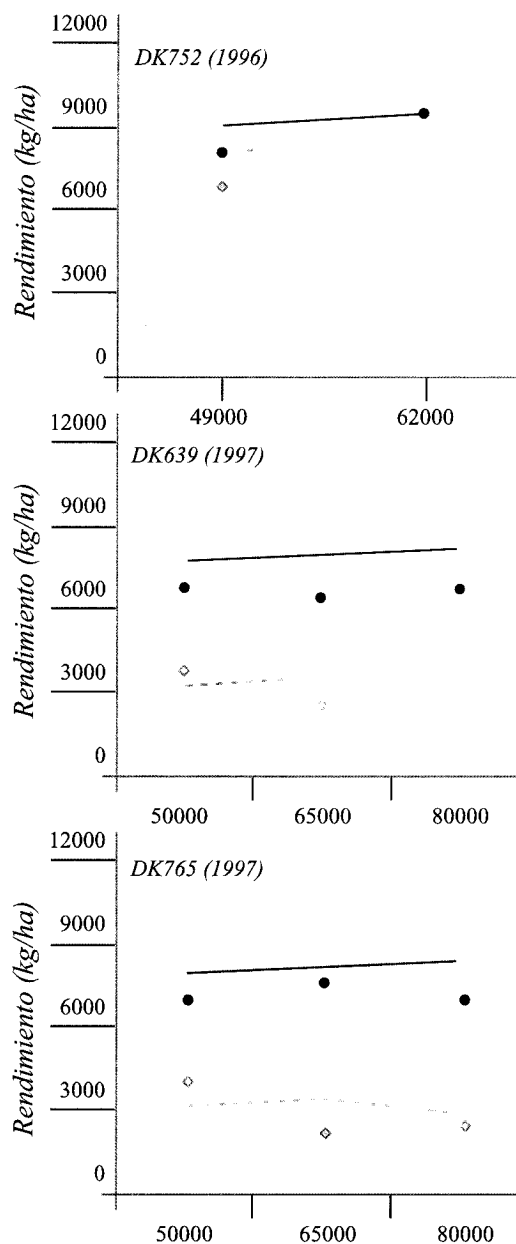
◆ **Nutrientes:** sólo se evaluó la respuesta al nitrógeno (N) pues es el único nutriente contemplado por el modelo hasta el momento. Los resultados se expresan utilizando como indicador al N disponible, que integra el contenido de N mineral de los primeros 60 cm del suelo a la siembra y el N que se agregue como fertilizante.

◆ **Adversidades:** los cultivos se asumen libres de insectos, malezas y enfermedades (= cultivos protegidos) y no se consideran posibles pérdidas de cosecha.

Respuesta del rendimiento en grano observado (símbolos) o simulado (líneas) a la densidad de plantas para tres híbridos de Maíz (DK752, DK639, y DK765). Los círculos y las líneas llenas corresponden a siembras tempranas. Los rombos y líneas punteadas a siembras tardías.

Datos provistos por A. Cirilo (INTA Pergamino).

Gráfico 3



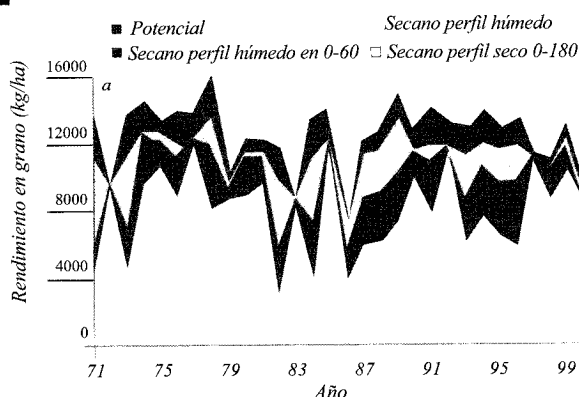
Rendimientos en secano sin limitación de N

◇ En este escenario se determinó que el rendimiento de un cultivo de Maíz de MR125, sembrado el 20 de Diciembre en secano, sin limitación de N (= con 130 kg/ha de N disponible) y partiendo de un perfil a capacidad de campo (equivalente a un Maíz tardío, sin cultivo antecesor) es de 11220 ± 1350 kg/ha (gráfico 4a), apenas inferior al potencial sin restricción hídrica a lo largo de todo el ciclo para esta fecha de siembra (12370 ± 1910 kg/ha). El rendimiento medio en secano cae un 30% (a 7890 ± 1970 kg/ha) si se parte de un perfil con sólo 30% de agua útil (equivalente a un Maíz de segunda sin recarga del perfil). La caída del rendimiento es de sólo 12% (a 9820 ± 1970 kg/ha) si los primeros 60 cm del perfil se han recargado a CC.

El atraso de la fecha de siembra a lo largo del mes de Diciembre no provoca cambios importantes en el rendimiento (gráfico 4b) ni en la duración del periodo siembra-floración (tabla 1). Este último es sustancialmente más corto (65-67 días) que el correspondiente a fechas tempranas (aproximadamente 75-80 días en siembras de Septiembre). Por el contrario, el periodo de llenado del grano resulta sucesivamente más largo con el atraso de la fecha de siembra, hasta que vuelve a acortarse en siembras muy tardías (Enero) debido a la ocurrencia de heladas tempranas antes de que el cultivo alcance la madurez fisiológica.

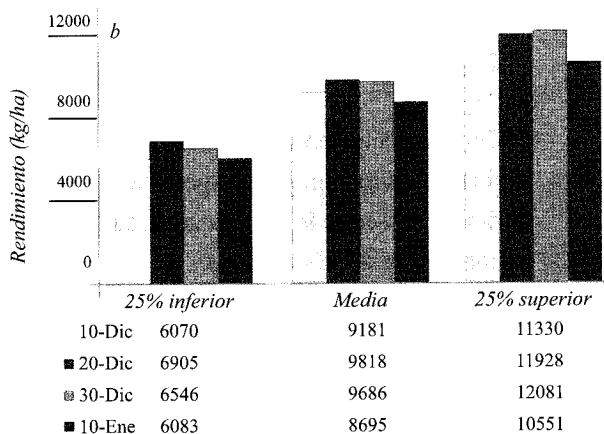
Rendimientos estimados en base a una serie histórica de datos climáticos correspondientes a Pergamino, para un híbrido de MR125, con siembra del 20 de Diciembre y cuatro condiciones de producción. En la condición potencial no existen limitaciones hídricas ni nutricionales. En todas las condiciones de secano se asumió una disponibilidad de N de 130 kg/ha.

Gráfico 4a



Rendimiento alcanzable por el mismo híbrido con distintas fechas de siembra en Pergamino para una condición de suelo a la siembra húmedo en superficie y seco en profundidad y con 130 kg de N disponible/ha.

Gráfico 4b



Tabla

Ocurrencia y duración de eventos fenológicos para distintas fechas de siembra de Maíz en Pergamino.

Siembra	Floración	Fin llenado (Peso máximo)	Siembra Floración	Floración Peso máximo
				días
10-Dic	6-22/02	8/04 al 21/05	65 ± 4	72 ± 6
20-Dic	15/02 al 3/03	27/04 al 13/06	65 ± 3	80 ± 9
30-Dic	26/02 al 15/03	4/05 al 30/06	66 ± 3	89 ± 11
10-Ene	12-25/03	4/05 al 26/07	67 ± 4	87 ± 17

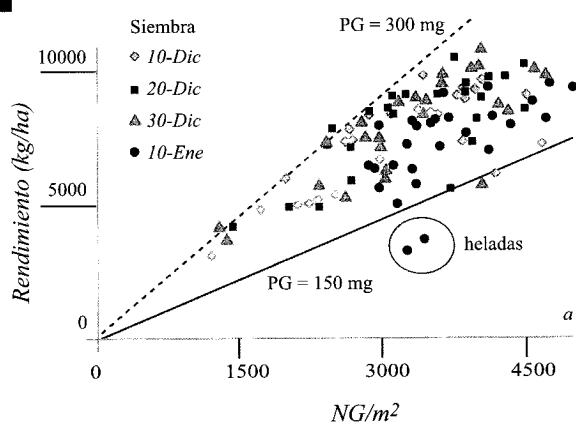
Las variaciones observadas en el rendimiento fueron explicadas principalmente por el NG/m² ($r^2 = 0.61, 0.54, 0.64$ para siembras del 10, 20 y 30 de Diciembre, respectivamente; gráfico 5a). Sin embargo, cuando la fecha se atrasó al 10 de Enero el NG/m² sólo explicó un 33.5% de la variación en el rendimiento, mientras el peso de los granos contribuyó a explicar un 39% de dicha variación. Esto destaca la importancia del llenado del grano y, consecuentemente, de la relación fuente-destino en esta etapa para este sistema de producción de Maíz.

La respuesta diferencial al contenido hídrico inicial se manifestaría a través de la cobertura que puede lograr el cultivo y su efecto sobre la intercepción de luz en períodos críticos para la determinación del rendimiento. Con el perfil seco a la siembra, la cobertura a floración es muy baja en uno de cada tres años y esto repercute negativamente sobre la determinación del NG/m² (gráfico 5b).

La estabilidad del rendimiento observada para siembras de Maíz a lo largo de Diciembre, junto con la clara ventaja que la recarga hídrica de los horizontes superiores significa para la determinación del mismo, sugieren que en este cultivo sería más recomendable priorizar el segundo factor (disponibilidad hídrica a la siembra) que el primero (fecha de siembra), mientras se trate de siembras de Diciembre. Además, dado que el ordenamiento de los rendimientos cambia entre las distintas fechas según el año, sería posible lograr una mayor estabilidad en la producción de maíces de segunda sembrando en distintas fechas durante Diciembre.

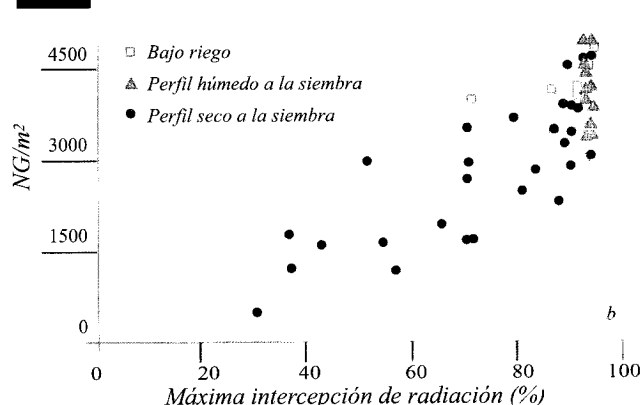
Respuesta del rendimiento al número de granos por m² (NG/m²) para diferentes fechas de siembra en Pergamino y una condición de suelo como en el gráfico 4b.

Gráfico 5a



Respuesta del NG/m² al nivel máximo de intercepción de luz alcanzado por el cultivo para tres condiciones de disponibilidad hídrica. Estimaciones correspondientes a un híbrido de MR125.

Gráfico 5b

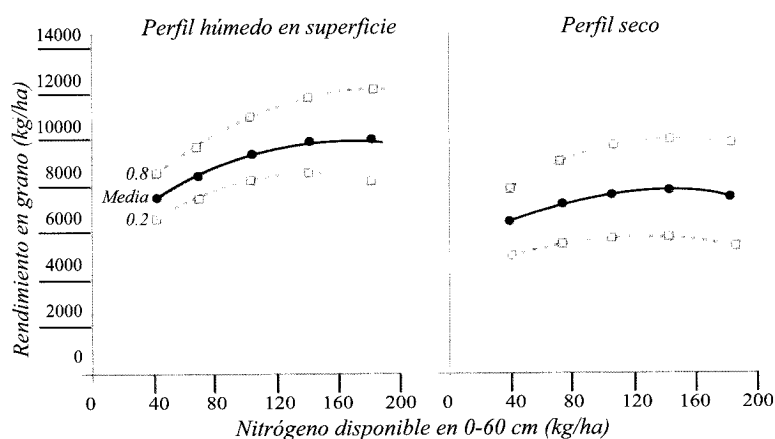


4.3 Respuesta al N

- La respuesta del rendimiento a la disponibilidad de N (N a la siembra, como suma de NO₃ y NH₄, y N agregado como fertilizante) varía en relación con la disponibilidad hídrica (gráfico 6). La respuesta promedio (funciones correspondientes al 50% de probabilidad)

Respuesta del rendimiento al N disponible para un híbrido de Maíz de MR125, sembrado el 20 de Diciembre en un suelo serie Pergamino, con 2.5% de materia orgánica y en dos situaciones hídricas iniciales. Perfil húmedo: capacidad de campo de 0-60 cm y 30% de AU de 60-180 cm. Perfil seco: 30% de AU de 0-180 cm. Las líneas corresponden a las funciones ajustadas a los valores medios (media = 50% de probabilidad) y a los correspondientes al 80% de probabilidad (0.8) y 20% de probabilidad (0.2). Las ecuaciones se pueden obtener del software Granero (Otegui y Mercau, 2002).

Gráfico 6



es mayor en todos los niveles de disponibilidad de N cuando el suelo parte húmedo en superficie a la siembra. La respuesta promedio al pasar de 60 a 130 kg de N/ha resultaría de 24 y 13 kg de grano/ha por unidad de N para un suelo húmedo o seco a la siembra, respectivamente. En base a los peores años de la serie histórica analizada (función 20% de probabilidad), hasta se puede registrar una merma de rendimiento si se ha partido de un perfil seco y se tiene más de 110 kg de N disponible por ha. Por otra parte, en ambas condiciones (perfil superficial húmedo o seco a la siembra) la respuesta positiva del rendimiento al N se mantiene hasta un umbral cercano a los 135 kg de N/ha para los años promedio. Las funciones establecidas permiten hacer un análisis económico para maximizar el beneficio de la fertilización nitrogenada (Otegui y Mercau, 2002).

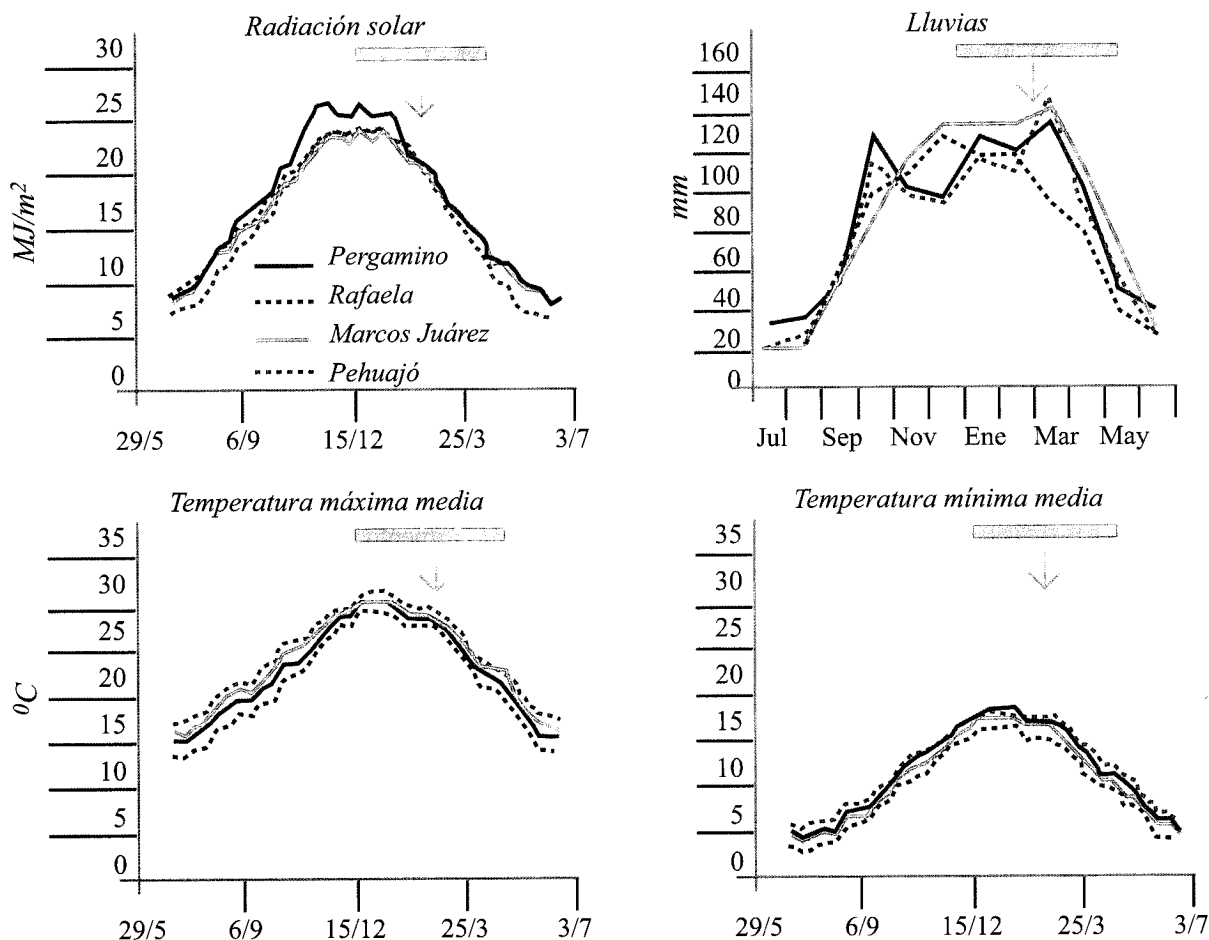
◊ dada la diversidad de condiciones en que se realizan maíces tardíos y de segunda en la región pampeana, se presenta a continuación un análisis de estrategias para estas prácticas en distintos ambientes. Es importante destacar que el MSA no ha sido evaluado con datos experimentales confiables como los de Pergamino (33°34'S, 60°21'O) para los nuevos sitios incluidos en esta parte del trabajo, por lo que los resultados que se discutirán deben ser considerados con precaución. Los nuevos sitios incorporados fueron Rafaela (31°12'S, 61°30'O), Marcos Juárez (32°36'S, 62°33'O) y Pehuajó (35°54'S, 61°54'O).

5.1 Condiciones ambientales de los sitios analizados

◊ Las localidades elegidas para el análisis difieren en las condiciones ambientales a lo largo del año (gráfico 7). Se destaca particularmente el clima más monzónico de Marcos Juárez y Rafaela respecto a la distribución más uniforme de lluvias durante el ciclo del Maíz en Pergamino y Pehuajó. Marcos Juárez, además, registra los menores niveles de lluvia entre todos los sitios. El gradiente Norte-Sur entre las localidades se refleja en las temperaturas: Marcos Juárez comparte con Rafaela registros térmicos más altos que los de Pergamino y Pehuajó. Pergamino tiene los mayores niveles de radiación solar para el ciclo del Maíz y Pehuajó los menores. En todas las localidades la radiación solar cae abruptamente durante el llenado de los granos de un Maíz tardío o de segunda, pero esto es aún más pronunciado en Pehuajó.

Evolución anual de la radiación solar, la temperatura y las lluvias en cuatro localidades de la región pampeana. Para las tres primeras variables se presentan los datos diarios obtenidos como el promedio de la serie histórica 1971-2000. Para las lluvias se obtuvo el promedio diario a partir de la serie histórica y luego se calculó el valor acumulado mensualmente. La barra horizontal indica el periodo en que aproximadamente transcurre el ciclo del cultivo con una siembra de mediados de Diciembre. La flecha indica el momento aproximado de floración.

Gráfico
7



Fenología

La ocurrencia de los eventos fenológicos de los cultivos simulados en distintas fechas de siembra difirió entre localidades, en correspondencia con las diferencias de temperatura entre ellas (tabla 2). Por otra parte, como la primera etapa del ciclo de un Maíz sembrado en Diciembre transcurre en una época del año en que las temperaturas son bastante estables (segunda quincena de Diciembre a primera quincena de Febrero), la duración estimada del período siembra a floración (Si-Fl) fue también muy constante entre las fechas simuladas (tabla 3) y siempre inferior a 70 días. El período de formación del grano (Fl-PMx= floración a peso máximo), en cambio, fue sucesivamente más largo con el atraso de la fecha de siembra a lo largo del mes de Diciembre. El acortamiento registrado en el llenado del grano para siembras de Enero en localidades como Pehuajó y Pergamino resulta de la ocurrencia de heladas tempranas que provocan la culminación de la etapa y en consecuencia el fin del ciclo del cultivo.

Tabla 2 *Fechas estimadas de floración para cada una de las localidades evaluadas en base a datos climáticos del período 1971-2000.*

Siembra	Rafaela	Marcos Juárez	Pergamino	Pehuajó
10-Dic	4/2 al 17/2	3/2 al 20/2	6/2 al 22/2	9/2 al 1/3
20-Dic	13/2 al 25/2	15/2 al 1/3	15/2 al 3/3	18/2 al 7/3
30-Dic	22/2 al 9/3	25/2 al 13/3	26/2 al 15/3	2/3 al 21/3
10-Ene	6/3 al 20/3	8/3 al 20/4	12/3 al 25/3	21/3 al 2 4

Tabla 3 *Duración promedio en días y desvío estándar de las etapas siembra-floración (Si-Fl) y floración-peso máximo del grano (Fl-Pmx).*

Siembra	Rafaela		Marcos Juárez		Pergamino		Pehuajó	
	Si-Fl	Fl-Pmx	Si-Fl	Fl-Pmx	Si-Fl	Fl-Pmx	Si-Fl	Fl-Pmx
10-Dic	62±4	60±5	64±4	65±6	65±4	72±6	69±4	84±13
20-Dic	62±3	65±6	65±4	71±7	65±3	80±9	69±4	92±15
30-Dic	62±3	73±7	65±4	82±11	66±3	89±11	70±4	90±18
10-Ene	63±3	84±10	66±3	87±14	67±4	87±17	72±4	79±19

Rendimientos potenciales

Los rendimientos potenciales estimados para maíces tardíos resultaron máximos en Pehuajó (12800 ± 1600 kg/ha) con siembras del 10 de Diciembre. Los rendimientos potenciales de Pergamino no fueron muy inferiores (12300 ± 1450 kg/ha) para esta fecha de siembra y no difirieron significativamente de los ya comentados para siembras del 20 de Diciembre en esta zona (gráfico 4a). Con menores rendimientos potenciales se ubicaron Marcos Juárez (11200 ± 1300 kg/ha) y Rafaela (10600 ± 1050 kg/ha), donde tampoco se estimó una disminución importante del rendimiento potencial por el atraso de la fecha de siembra durante Diciembre. En Pehuajó, en cambio, el rendimiento potencial disminuiría más pronunciadamente que en las otras localidades con el atraso de la fecha de siembra. Siembras de Enero ya provocarían reducciones sustanciales del rendimiento potencial en todas las localidades.



Rendimientos alcanzables en secano sin limitación de N

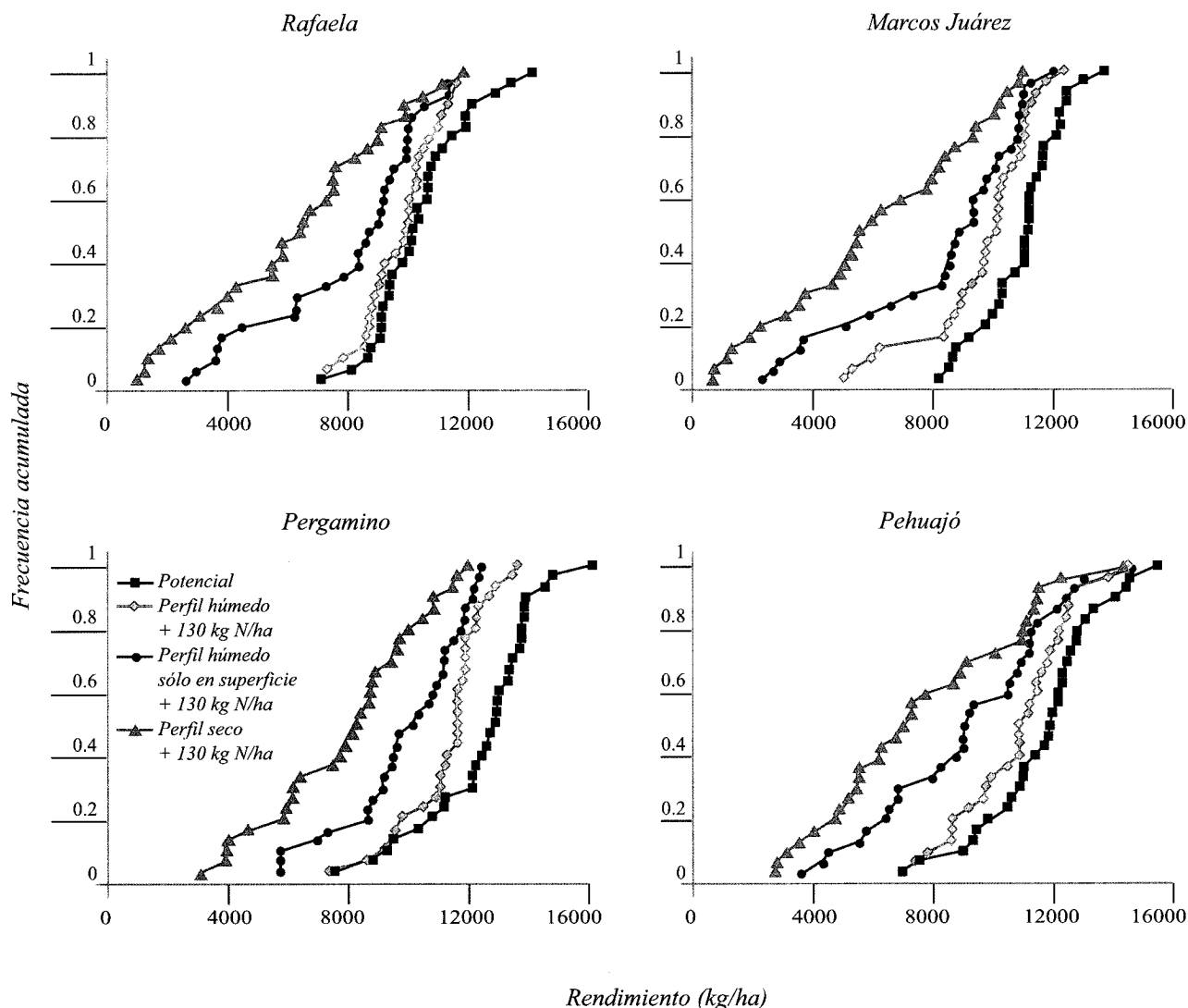
◆ Los rendimientos alcanzables con siembras del 20 de Diciembre (gráfico 8) se ubicarían en 9800 ± 1230 kg/ha para Rafaela, 9640 ± 1840 kg/ha para Marcos Juárez, 10700 ± 1800 kg/ha para Pehuajó y 11220 ± 1350 kg/ha para Pergamino (indicado anteriormente) para maíces tardíos (todo el perfil húmedo a la siembra). Estos rendimientos caen a 8000 ± 2640 , 8300 ± 2800 , 9000 ± 2800 y 9800 ± 1970 kg/ha, respectivamente, para maíces de segunda con recarga hídrica del perfil superficial (lo cual representa una merma de 18%, 14%, 16% y 13%, respectivamente, respecto a la condición de todo el perfil húmedo).

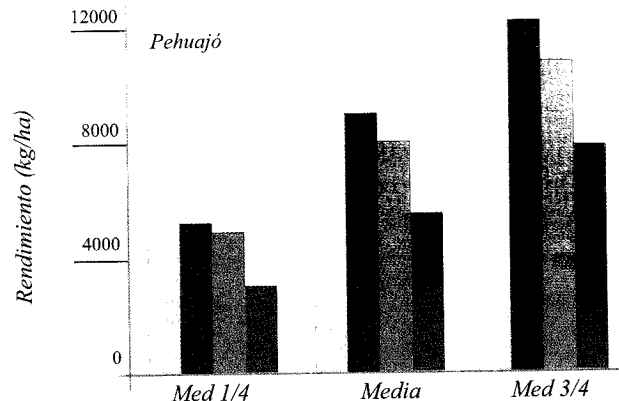
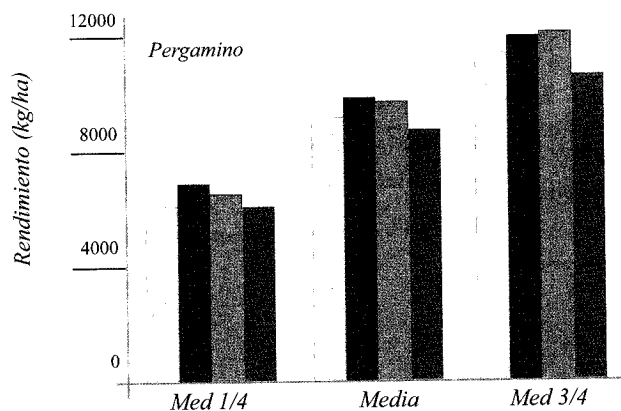
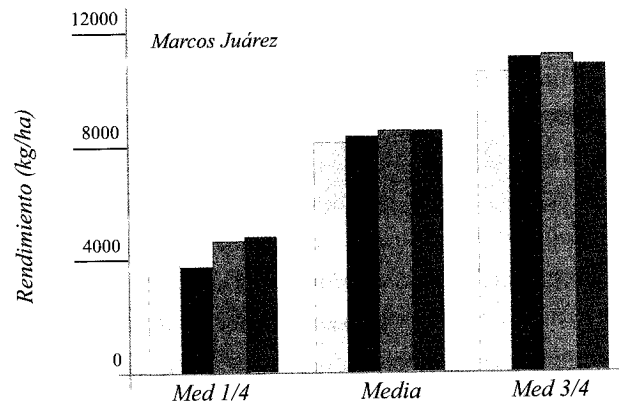
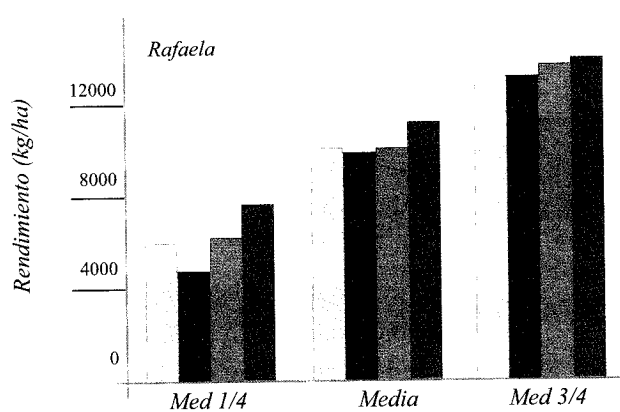
Si se parte de un perfil completamente seco, los rendimientos se ubican en 6200 ± 3100 , 6050 ± 3200 , 7400 ± 3100 y 7900 ± 2400 kg/ha, respectivamente, significando una merma respecto a la condición de capacidad de campo de 37% para Rafaela y Marcos Juárez, 31% para Pehuajó y 30% para Pergamino.

La disponibilidad de agua a la siembra tendría una importancia crítica en todas las localidades. En promedio para una siembra del 20 de Diciembre, si el cultivo parte con el perfil húmedo en los primeros 60 cm el aumento del rendimiento respecto a la situación de todo el perfil seco sería de 21, 23, 27 y 36% en Pehuajó, Pergamino, Rafaela y Marcos Juárez, respectivamente. La importancia relativa de la disponibilidad hídrica es aún mayor en los peores años.

Gráfico
8

Frecuencia acumulada de rendimientos estimados de un híbrido de MR125, correspondientes a una siembra del 20 de Diciembre en cuatro localidades y para cuatro condiciones de disponibilidad hídrica.





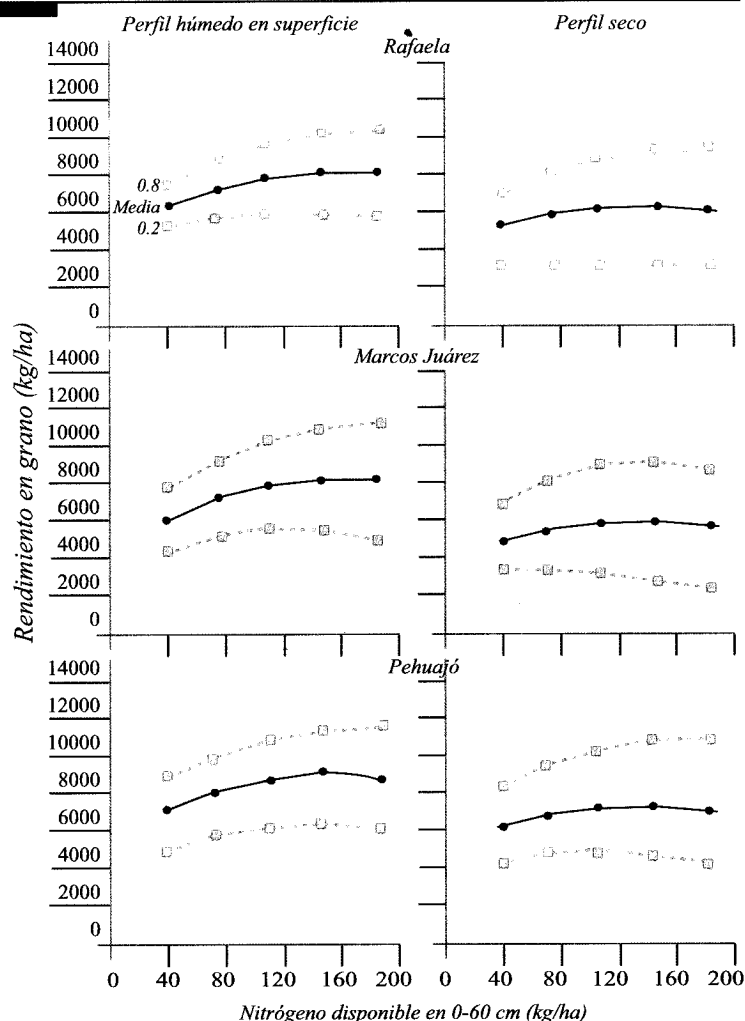
Respuesta al N (kg de incremento de rendimiento en grano por kg de N agregado) para dos niveles de disponibilidad del nutriente (40 y 130 kg de N/ha en los primeros 60 cm del suelo) y dos situaciones hídricas iniciales del suelo (Húmedo = capacidad de campo de 0-30 cm y 30% de AU de 60-180 cm; Seco = 30% de AU entre 0 y 180 cm) en siembras del 20 de Diciembre.

Tabla
4

Localidad	Humedad inicial del suelo	N inicial (kg N/ha)	
		40	130
Rafaela	húmedo	38	16
	seco	18	1.5
Marcos Juárez	húmedo	38	17
	seco	19	2.6
Pergamino	húmedo	43	23
	seco	21	3
Pehuajó	húmedo	38	16
	seco	21	3

Respuesta del rendimiento al N disponible para un híbrido de Maíz de MR 125, sembrado el 20 de Diciembre en tres localidades y dos situaciones hídricas iniciales. Perfil húmedo: capacidad de campo de 0-60 cm y 30% de AU de 60-180 cm. Perfil seco: 30% de AU de 0-180 cm. Las líneas corresponden a las funciones ajustadas como en el gráfico 6.

Gráfico
10



Respuesta al N

La respuesta al N muestra una clara interacción entre localidades y condición hídrica inicial del suelo (gráficos 6 y 10). Las menores respuestas corresponden siempre a la condición de todo el perfil seco, para la cual se pronostican incluso mermas sostenidas en los peores años para Marcos Juárez (gráfico 10, función del 20%).

La respuesta a la disponibilidad de N para la situación promedio en cada ambiente y condición hídrica se presenta en la tabla 4 para una siembra del 20 de Diciembre. Con baja disponibilidad de N y suelo húmedo en superficie a la siembra, la respuesta al agregado del nutriente es alta en todas las localidades (≥ 38 kg de grano/kg de N agregado), y disminuye aproximadamente a la mitad cuando (a) se parte de un perfil seco en superficie (respuesta ≤ 18 kg/kg), o (b) la disponibilidad del nutriente es elevada (respuesta ≤ 16 kg/kg). La respuesta se hace casi nula (1.5-3 kg/kg) cuando existe elevada disponibilidad y perfil seco en superficie a la siembra.

5.6 Híbridos: rendimiento vs. humedad a cosecha

Las evaluaciones de híbridos en los escenarios propuestos indicaron que, para casi todas las condiciones analizadas, no se obtiene un beneficio en el rendimiento al utilizar híbridos de ciclo corto (MR 111) en siembras de Maíz tardías o de segunda (tabla 5). El rendimiento al momento de finalizar el llenado del grano (= Peso máximo del grano) casi siempre se maximizó con híbridos de mayor madurez relativa, como DK752 (MR 125) y DK664 (MR 116). La excepción a esta tendencia sólo se verificó en la siembra del 10 de Enero en Pehuajó, en que se estimó un mayor rendimiento con el híbrido de ciclo más corto. Para la siembra del 30 de Diciembre en esta localidad y del 10 de Enero en Pergamino ya no existiría diferencia en el rendimiento alcanzable entre híbridos de MR 111 (como el DK615) y MR 125 (como el DK752).

Rendimiento en grano estimado para híbridos de diferente madurez relativa (MR) cultivados en 3 fechas de siembra en cuatro localidades. Los valores corresponden al rendimiento medio simulado a partir de la serie histórica 1971-2000 y considerando un perfil (a) a capacidad de campo de 0-60 cm y 30% de AU de 60-180 cm, y (b) con 130 kg N/ha.

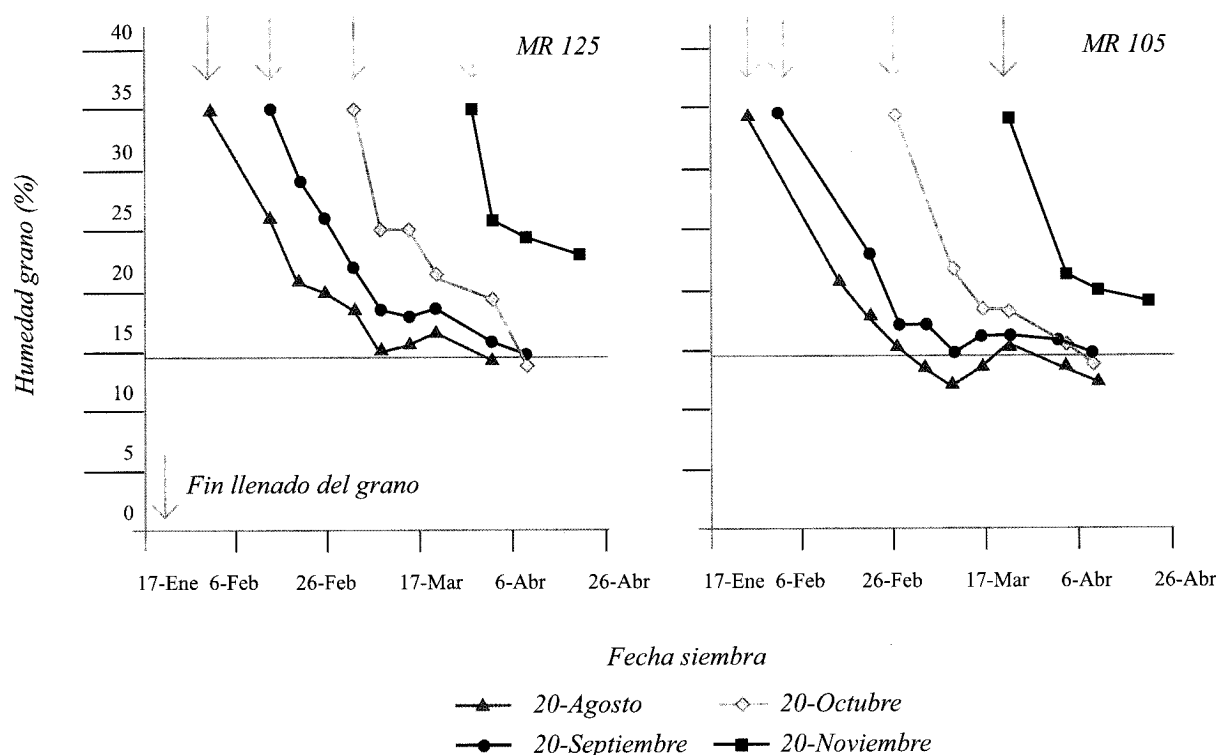
Tabla

Localidad	Fecha de Siembra	Híbrido MR 111 (DK615 MG)	Híbrido MR 125 (DK752 MG)
kg de grano/ha			
Rafaela	20 Dic	6760	8000
	30 Dic	7000	8250
M. Juárez	10 Ene	7300	9030
	20 Dic	7020	8260
	30 Dic	7400	8520
Pergamino	10 Ene	7670	8400
	20 Dic	8300	9800
	30 Dic	8900	9700
Pehuajó	10 Ene	8750	8700
	20 Dic	8300	9000
	30 Dic	8040	7950
	10 Ene	6700	5520

La tendencia general, por otra parte, indica que la ventaja de rendimiento de los ciclos más largos va desapareciendo a medida que se atrasa la fecha de siembra, excepto para la localidad de Rafaela. A este comportamiento general se debe agregar un factor no contemplado en el MSA utilizado: el secado del grano a partir de madurez fisiológica, que condiciona la cosecha del cultivo y puede significar una ventaja agromónica a considerar junto con el rendimiento alcanzable. La escasa información disponible para las condiciones de producción aquí analizadas sugiere que los maíces de ciclo completo (ej. MR 120-125) sembrados en Diciembre no alcanzarían la madurez comercial durante el otoño, pues ingresarían al mes de Mayo con más de 25% de humedad en el grano (gráfico 11). Con maíces de ciclo más corto (MR 105-115) se podría alcanzar una humedad de grano menor en la misma época.

Gráfico
11

Evolución del porcentaje de humedad del grano para dos híbridos de diferente madurez relativa (MR 125 y MR 105) sembrados en cuatro fechas en Rojas (Adaptado de Otegui y Slafer, 1996).



El rendimiento alcanzable de Maíz en siembras de segunda a lo largo de Diciembre, con un suelo seco en profundidad (30% de AU entre 60 y 180 cm) pero húmedo en superficie (capacidad de campo entre 0 y 60 cm) y con buena disponibilidad de N durante el ciclo (130 kg de N disponibles/ha) podría promediar: 8.1 Tn en Rafaela, 8.3 Tn en Marcos Juárez, 8.8 en Pehuajó y 9.5 en Pergamino.

Las fechas óptimas de siembra para las condiciones indicadas cambian entre localidades. En Pergamino los rendimientos decrecen levemente hacia fin de diciembre, en Marcos Juárez casi no varían, en Rafaela aumentan y en Pehuajó caen fuertemente. En función de esta respuesta y de las condiciones ambientales durante el secado de los granos debe definirse la MR del híbrido a utilizar.

Los rendimientos indicados se podrían obtener con densidades entre 55.000 y 65.000 plantas logradas/ha.

El agua a la siembra puede condicionar fuertemente el rendimiento en un tercio de los años, a través de una baja cobertura que afectaría principalmente la determinación del NG/m².

La respuesta al nitrógeno presenta una fuerte interacción entre localidad, agua a la siembra, disponibilidad inicial de N y otros factores no discutidos en esta presentación (como tipo de suelo e híbrido), de allí la importancia de considerar todos estos elementos al momento de decidir una fertilización.

- Cirilo, A. 2001. Maíces tardíos y maíz de segunda. Revista de tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino. Vol. VI, Nro. 18. pp. 44-48.
- Iannone, N. 2001. Control químico de Diatraea. Tecnología que apunta a la alta producción. Revista de tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino. Vol. VI, Nro. 17. pp. 33-37.
- Jones, C.J.W., G.I Tsuji, G. Hoogenboom, L.A. Hunt, P.K. Thornton, P.W. Wilkens, D.T. IMAMURA, W.T. Bowen, y U. Singh. 1998. DSSAT V3. Understanding options for agricultural Production. Kluwer Academic Publishers.
- Maddonni, G.A., Otegui, M.E., y Cirilo, A.G. 2001. Plant population density, row spacing, and hybrid effects on maize canopy architecture and light interception. Field Crops Res. 71:183-193.
- Mercau, J.L., E.H. Satorre, M.E. Otegui, G.A. Maddonni, J. Cárcova, R. Ruiz, M. Uribelarrea y F.J. Menéndez. 2001. Evaluación a campo del comportamiento del modelo Ceres en cultivos de maíz del norte de la provincia de Buenos Aires. VII Congreso Nacional de Maíz. 7-9 de Noviembre, Pergamino, Argentina. En CD.
- Otegui, M., Maddonni, G. y Ruiz, R. 1996a. Desarrollo, crecimiento y generación del rendimiento en maíz. Capítulo 1: 8-18, Cuaderno de Actualización Técnica "Maíz". AACREA.
- Otegui, M.E. y Mercau, J.L. 2002. Granero: maíces tardíos y maíz de segunda. Software para uso agronómico. Monsanto S.A.
- Otegui, M.E., Nicolini, M.G., Ruiz, R.A. y Dodds, P. 1995. Sowing Date Effects on Grain Yield Components for Different Maize Genotypes. Agronomy Journal, 87: 29-33.
- Otegui, M.E., Ruiz, R.A., y Petrucci, D. 1996b. Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region. Field Crops Research 47:167-174.
- Otegui, M. y Slafer, G. 1996. Principales aspectos de la Cosecha, Acondicionamiento y Almacenamiento de maíz. Capítulo 9: 74-82, Cuaderno de Actualización Técnica "Maíz". AACREA.