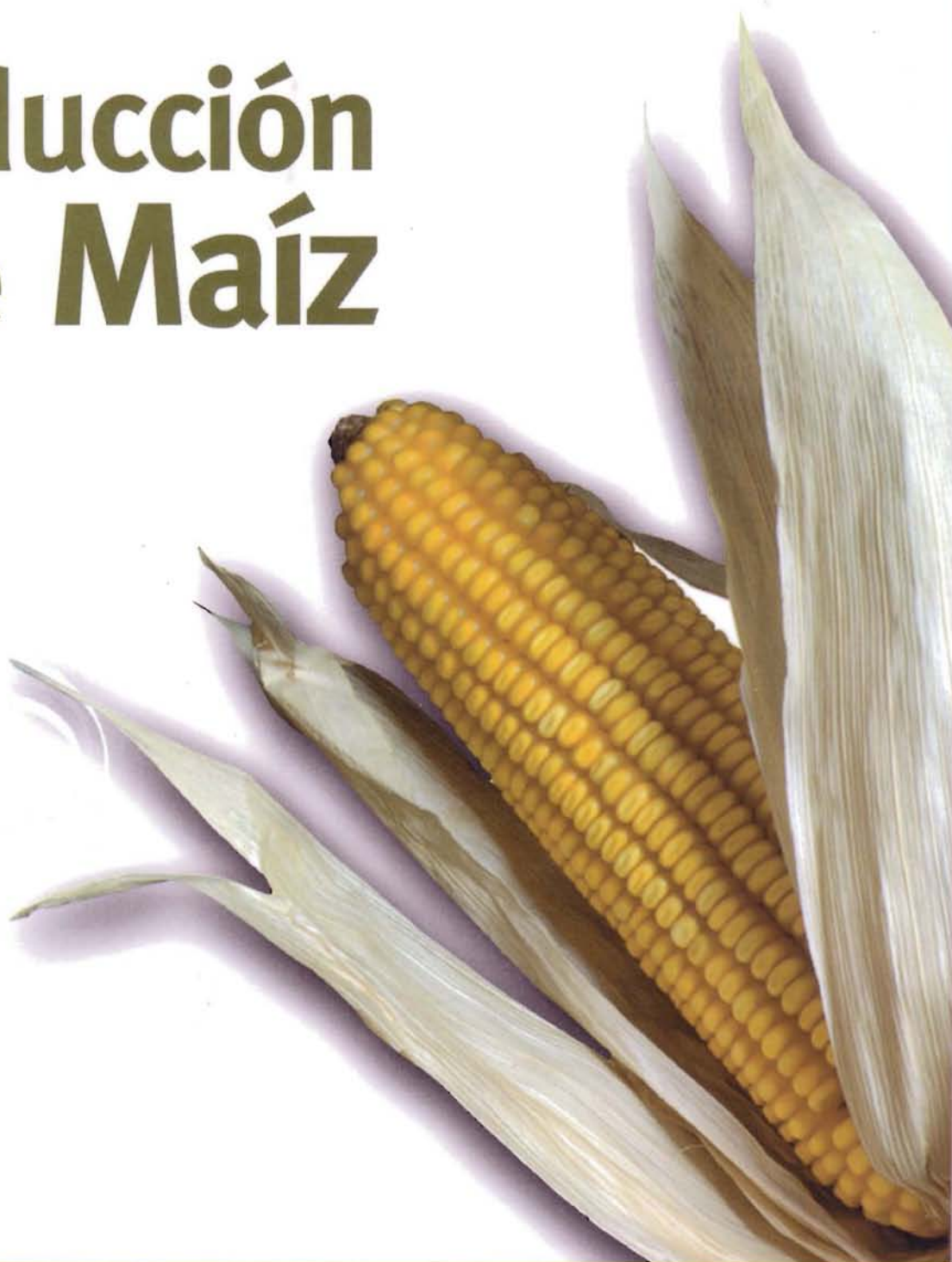


Producción de Maíz



Producción de Maíz

Coordinador: Emilio Satorre

■ Autores

Fernando Andrade
Bernardo Bauschen
Francisco Bedmar
Javier Belligoi
Federico Bert
Grisela Botta
Marcos Buscarol
Matías Campos
Gerardo Cerutti
Sergio Conterjnic
Marcelo Di Napoli
César Matías Ermacora
Martín Fraguío
Daniel Frascarolo
Jorge González Montaner
Celeste Gregoret
Daniel Igarzábal
Antonio Ivancovich
Alfredo Lange
Gustavo Maddonni
Gustavo Martini

Fernando Menéndez
José Micheloud
Ricardo Negri (h)
María Elena Otegui
Fernando Pacín
Fernando Perea Muñoz
Mariano Pizzio
Guillermo Podestá
Carlos Pouiller
Rubén Radío
Juan Radrizzani
Gonzalo Roperó
Matías Ruffo
Emilio H. Satorre
Margarita Sillón
Alejandro Socas
Nicolás Tagle
Gastón Therisod
Henri Vicentin
Martín Young

AACREA
Unidad de Comunicación y Marketing
Sarmiento 1236, 5° piso (C1041AAZ)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
(011) 4382-2076/79
suscripciones@aacrea.org.ar
www.aacrea.org.ar

Producción de maíz/María Elena Otegui...[et.al.]; coordinado por Emilio Satorre.

- 1ª ed. - Buenos Aires : Asoc. Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola

- AACREA, 2008.

132 p. : il. ; 26x20 cm.

ISBN 978-987-1513-00-0

1. Ciencias Agropecuarias. 2. Producción de Maíz. I. Satorre, Emilio, coord.

CDD 641.331 5

Fecha de catalogación: 14/04/2008

AACREA

Unidad de Comunicación y Marketing

Sarmiento 1236, 5º piso (C1041AAZ)

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

www.aacrea.org.ar

(54-11) 4382-2076/79

Edición: Mariela Suárez y Carlos Marín Moreno

Diseño de tapa e interiores: Rene Durand/contacto@percepto.com.ar

Corrección: Cecilia Biagioli

Fotografías: Martín Gómez Álzaga/Pablo Oliveri

Impreso en Indugraf S. A.

ISBN: 978-987-1513-00-0

Hecho el depósito que indica la ley 11.723

Impreso en la Argentina

Primera edición: mayo de 2008



Todos los derechos están reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, en todo ni en parte, ni registrada por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea éste mecánico, fotográfico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de AACREA.

9

Variabilidad climática y toma de decisiones en el cultivo de maíz



■ **Ing. Agr. Federico Bert**

Unidad de Investigación y Desarrollo del Movimiento CREA.

Cátedra de Cerealicultura de la facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

■ **Dr. Guillermo Podestá**

Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, EE. UU.



La variabilidad climática es una de las principales fuentes de riesgo para la producción agrícola en la Argentina. La región pampeana, principal área productiva del país, se caracteriza por una alta variabilidad interanual de las precipitaciones (coeficiente de variación = 20-30%, Prohaska, 1976). Además, la producción de cultivos se realiza, en su mayor parte, bajo condiciones de secano, lo que determina que los resultados productivos estén fuertemente asociados a las variaciones del clima. La dependencia de los sistemas agrícolas respecto de este factor no sólo está vinculada con su variabilidad interanual, sino también con la dificultad para anticipar su comportamiento (Hansen 2002).

El maíz es un cultivo altamente sensible a la variabilidad climática bajo las condiciones de producción de los sistemas pampeanos, porque la floración, que es la etapa del cultivo más sensible a las condiciones hídricas, ocurre en momentos de alta demanda atmosférica (mediados de diciembre-enero; Hall et al. 1992; Andrade et al. 1996). Este hecho, sumado a la limitada capacidad de almacenaje de los suelos —que son principalmente someros y/o con textura gruesa—, determina que el rendimiento sea altamente dependiente de las precipitaciones durante los meses de primavera tardía y comienzos del verano.

La posibilidad de anticipar el escenario climático al momento de definir las tecnologías de manejo que se aplicarán al cultivo permitiría ajustarlas a las condiciones esperadas; es decir, se podrían seleccionar las más adecuadas a la luz del escenario climático más probable. De esta manera, podría disminuir el impacto de las condiciones climáticas negativas o se podría tomar ventaja si las condiciones esperadas son favorables.

En este capítulo se analiza la posibilidad de utilizar la información climática como una herramienta para la toma de decisiones en el cultivo de maíz. Se realiza una breve revisión de la principal fuente de variabilidad y predictibilidad climática en la región pampeana: el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), para luego considerar el impacto de sus efectos en la región sobre el cultivo. Por último, se evalúan las oportunidades de uso de pronósticos del ENOS al momento de planificar el cultivo.

Predictibilidad climática

La naturaleza caótica de la atmósfera impide predecir cómo se comportará más allá de algunos días (5-10). Por lo tanto, es imposible anticipar con exactitud las condiciones climáticas que definirán la próxima estación mediante la simple extensión del pronóstico del tiempo. Sin embargo, algunas variables (como las temperaturas del océano) tienen una evolución temporal más lenta, por lo que permiten adelantar ciertas tendencias generales para el clima regional.

Los pronósticos estacionales indican desviaciones con respecto a una distribución de probabilidad esperada de valores de una determinada variable climática. Por ejemplo: el total de lluvias en los meses de verano en Pergamino presenta una distribución característica (un

determinado promedio y variabilidad). Cuando se esperan condiciones climáticas diferentes, la distribución de valores esperados cambia. Por ejemplo, durante eventos La Niña hay una mayor probabilidad de que los totales de lluvia durante los meses de noviembre y diciembre sean bajos. Sin embargo, como el pronóstico es probabilístico, también pueden tener lugar precipitaciones medias o altas, aunque estos valores son menos probables.

En los últimos años, la capacidad de predecir las variaciones del clima mejoró significativamente (Murphy et al., 2001). El avance en la generación de pronósticos fue posible gracias a una profundización del conocimiento del sistema climático que permitió el desarrollo de nuevos y mejores modelos de predicción. Por otra parte, también mejoró la capacidad de monitorear la evolución del clima por medio de instrumentos localizados sobre boyas, satélites y otros medios.

En la actualidad, diversas agencias internacionales distribuyen pronósticos climáticos que incluyen, entre otras posibilidades, predicciones de eventos ENOS e informes sobre la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones o temperaturas que se ubiquen por encima o por debajo del promedio en una región determinada. Los pronósticos distan de ser exactos, aunque su nivel de precisión es considerablemente mayor que el azar.

El fenómeno ENOS

El ENOS es una de las mayores fuentes de variabilidad climática en escalas temporales estacionales e interanuales (Trenberth, 1996). Este fenómeno resulta de la interacción entre el mar y la atmósfera en el océano Pacífico tropical. En principio, se trata de un fenómeno que se puede categorizar en dos fases extremas, según las temperaturas de la superficie del océano: even-



tos cálidos o "El Niño" y eventos fríos o "La Niña". Los años que no se encuentran dentro de estas categorías se denominan *Neutros*.

Los cambios inducidos por el fenómeno ENOS en la circulación general de la atmósfera impactan directamente en el clima de varias regiones alrededor del mundo. Su efecto es más intenso en las zonas tropicales y menos pronunciado y más variable en las extratropicales (Trenberth, 1996). En la región pampeana, por ejemplo, la *señal del ENOS se manifiesta principalmente en los meses de primavera tardía y comienzos del verano (octubre-noviembre-diciembre)*. Durante los eventos El Niño, las precipitaciones tienden a ser superiores al promedio histórico, mientras que en La Niña, tienden a ser inferiores (Podestá et al. 1999; Grimm et al. 2000). En los años Neutros las precipitaciones medias son generalmente similares al promedio histórico (los años Neutros constituyen alrededor del 50% del total de la serie histórica).

Sin embargo, las señales asociadas a cada fase del ENOS sobre el clima de una región pueden variar en inicio, duración e intensidad, y esto se traduce en diferencias en cuanto al impacto de eventos de la misma categoría en el clima de una zona determinada. Así, ante un evento La Niña cabe esperar una mayor probabilidad de lluvias menores del promedio, pero también puede haber Niñas anormalmente lluviosas. Para la región pampeana, la señal en las lluvias suele ser más nítida en el caso de los eventos La Niña respecto de El Niño (Penalba et al., 2007).

Sin embargo, el ENOS no es el único responsable de las variaciones climáticas en la región pampeana. También existen otros procesos, como el monzón sudamericano, que pueden afectar el clima local y que se encuentran actualmente en estudio (Penalba et al. 2007). A pesar de ello, la información sobre el ENOS es de suma importancia para la planificación de la campaña, ya que constituye la principal fuente de variabilidad y predictibilidad climática en las regiones agrícolas más importantes de la Argentina. De esta manera, la disponibilidad de pronósticos asociados con este fenómeno es una herramienta potencialmente útil para ajustar las estrategias de producción a las condiciones climáticas esperadas.

El maíz y el ENOS

La variabilidad climática asociada al ENOS impacta de manera directa en el rendimiento del cultivo de maíz. En un estudio realizado en el nivel nacional sobre registros de rendimientos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (Sagpya), Podestá et al. (1999) observaron que el rinde de maíz durante las fases

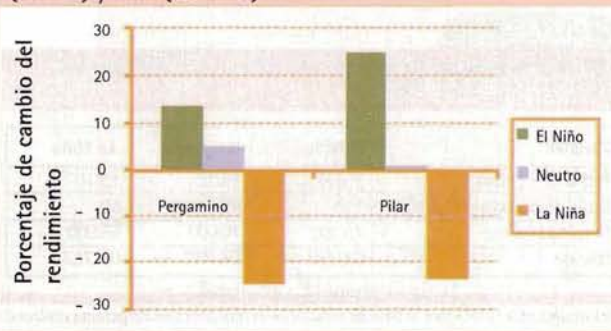
El Niño fue significativamente mayor que en las fases neutras. Contrariamente, en los eventos La Niña fue significativamente menor. De los 21 eventos El Niño registrados en la serie histórica analizada (1900-1996), en 13 casos se observaron rendimientos por encima del promedio, es decir, el doble de lo que podría esperarse si el rendimiento de maíz fuera independiente de las fases del ENOS. De la misma manera, de los 23 eventos La Niña analizados en el mismo período, 16 registraron *rendimientos por debajo del promedio y sólo 2 se ubicaron por encima de él*. La depresión en los rendimientos durante los eventos La Niña es, en promedio, mayor y menos variable que el aumento de rendimiento en los eventos El Niño. Según lo hallado por Podestá et al., el incremento de rendimiento en El Niño es, en promedio, cercano al 10%, mientras que las disminuciones en La Niña resultan próximas al 17%.

En las fases El Niño, las mayores precipitaciones durante fines de primavera y comienzos del verano ofrecen mejores condiciones de crecimiento para el cultivo durante la floración, lo que se traduce en incrementos del rendimiento. Contrariamente, la señal negativa de La Niña determina condiciones de producción que suelen provocar pérdidas (Magrín et al., 1998; Messina et al., 1999; Podestá et al., 1999).

Aunque los efectos del ENOS en el rendimiento de maíz son similares para toda la región pampeana, puede observarse cierta variabilidad espacial en el impacto de las fases (Magrín et al., 1998). Simulaciones realizadas en Pergamino (provincia de Buenos Aires) muestran disminuciones de rendimiento sensiblemente mayores en La Niña, en comparación con los incrementos observados en El Niño (gráfico 1). Contrariamente, simulaciones realizadas en Pilar (Córdoba) muestran un efecto más simétrico del fenómeno, con incrementos importantes en El Niño y disminuciones en La Niña. La varia-

Gráfico 1

Porcentaje de cambio del rendimiento de maíz en las fases del ENOS respecto al promedio histórico en Pergamino (Bs. As.) y Pilar (Córdoba)



Los rendimientos se simularon utilizando la serie climática histórica de cada localidad.

bilidad del impacto está asociada con la variabilidad espacial del efecto del fenómeno en el clima y la interacción con las condiciones agroecológicas propias de cada zona. Por ejemplo, las mayores precipitaciones asociadas a El Niño pueden no traducirse en incrementos del rendimiento en zonas cuyas condiciones productivas se acercan a las óptimas, como es el caso de Pergamino, mientras que pueden tener impactos importantes en áreas con mayores limitantes como el norte de Córdoba.

En 2001, Ferreyra et al. realizaron un análisis de los riesgos de producción de maíz asociados a las fases del ENOS para Pergamino y Pilar. Los resultados indican que, en Pergamino, la distribución de probabilidad de rendimientos para los eventos El Niño es similar a la de los años Neutros, con un ligero aumento de la probabilidad de obtener rendimientos elevados. Para el caso de La Niña, se observan muy bajas probabilidades de superar rendimientos promedio o superiores. En Pilar, en cambio, se observaron cambios más simétricos, con incrementos de la probabilidad de alcanzar rendimientos altos en eventos El Niño e incrementos de la probabilidad de rendimientos bajos en La Niña. En el mismo estudio también se determinó un efecto muy importante de la disponibilidad inicial de agua sobre el rendimiento de maíz. Si la disponibilidad hídrica a la siembra es la adecuada, es posible atenuar gran parte de los efectos negativos provocados por reducción de las precipitaciones ocasionadas por La Niña (principalmente en Pilar) y una capitalización de las condiciones favorables asociadas a El Niño.

El manejo de maíz y el ENOS

Las tecnologías de manejo responden de manera diferente a las fases del ENOS (Podestá et al., 2002; Bert et al., 2006). Esto genera la posibilidad de adaptar el manejo del cultivo para evitar las disminuciones de rendimiento asociadas a los escenarios La Niña y capitalizar las ventajas de los escenarios El Niño.

Cuadro 1

Estrategias óptimas de manejo del cultivo de maíz para las diversas fases del ENOS

Variable	El Niño	Neutros	La Niña
Fecha de siembra	29/09	15/10	15/10
Dosis de nitrógeno (kg/ha)	116	85	58
Densidad (pl/ha)	75.000	70.000	55.000
Híbrido	DK 757	DK 757	DK 752

Resultados obtenidos sobre la base de simulaciones realizadas en Pergamino utilizando la serie climática histórica.
Fuente: Royce et al., 2002.

En este sentido, los modelos de simulación agronómica se constituyen en herramientas indispensables para explorar el comportamiento de distintas estrategias de manejo ante diferentes escenarios climáticos. A diferencia de los experimentos a campo, que son extremadamente costosos e insumen mucho tiempo, los modelos de simulación permiten reproducir el crecimiento y desarrollo de los cultivos sobre la base de las definiciones de manejo (fecha de siembra, genotipos, densidad, fertilización); los registros climáticos diarios (temperatura máxima y mínima, precipitaciones y radiación solar); los parámetros que describen características (textura, contenido de materia orgánica) y condiciones del suelo (contenido de nitrógeno a la siembra) y los coeficientes genéticos que describen diferencias fisiológicas entre distintas variedades o híbridos.

El modelo CERES Maize (Ritchie et al., 1998) ha sido calibrado y validado bajo diferentes condiciones de campo en varios ambientes productivos de la Argentina (Mercau et al., 2001). En los siguientes párrafos se analizan los resultados derivados de diferentes trabajos en los que se utilizó este modelo para explorar el comportamiento de diferentes estrategias de manejo de maíz en las distintas fases del ENOS.

Una primera conclusión es que el manejo óptimo no es el mismo para las diversas fases del fenómeno. En un estudio desarrollado por Royce et al. (2002) en Pergamino se observaron diferencias importantes en cuanto a la fecha de siembra, el nivel de fertilización nitrogenada, la densidad y los mejores híbridos para cada fase. En El Niño, la estrategia óptima para máximos rendimientos incluyó una fecha de siembra temprana y altas densidades y niveles de fertilización (cuadro 1), mientras que para La Niña, en cambio, se utilizó una fecha de siembra tardía y menores dosis de nitrógeno y densidad de siembra. En este último caso, la estrategia óptima permitió disminuir notablemente el impacto negativo asociado a las menores precipitaciones.

Estos resultados son consistentes con otros estudios realizados en la zona (Jones et al., 2000): las condiciones favorables asociadas a El Niño permiten incrementar los rendimientos, especialmente si se intensifica el paquete tecnológico aplicado; pero, además, es posible evitar pérdidas de rendimiento en La Niña si se modifican ciertas decisiones relacionadas con la estructura del cultivo.

Fertilización

La respuesta a la fertilización también varía en las diferentes fases del ENOS. El gráfico 2 muestra el rendimiento simulado de maíz con dosis variables de nitró-

geno en Pergamino y en Pilar, en los períodos que corresponden a las fases extremas. En Pergamino se observó una elevada respuesta al agregado de nitrógeno en El Niño, aun en los casos en que se presentaron precipitaciones inferiores a lo normal (percentil 20). En condiciones de simulación, tuvieron lugar respuestas importantes, incluso cuando se agregaron hasta 200 kg/ha de nitrógeno. En los eventos La Niña, en cambio, la respuesta resultó menor y no se aprecian beneficios importantes por encima de los 130 kg/ha.

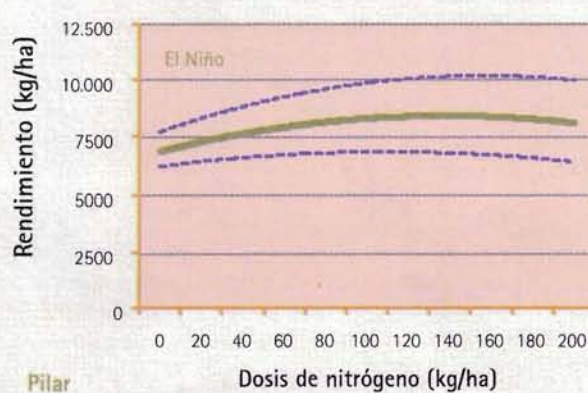
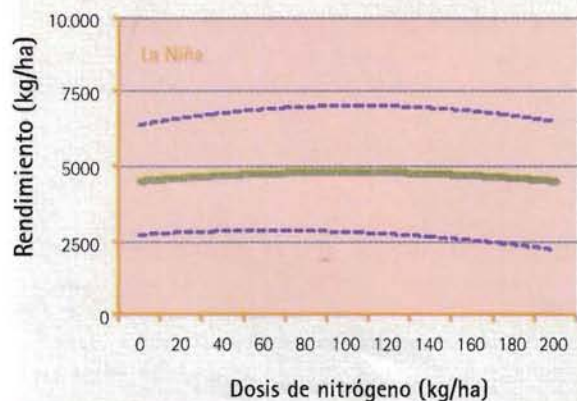
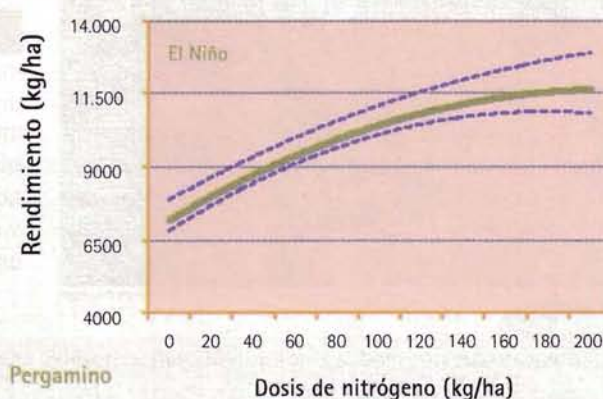
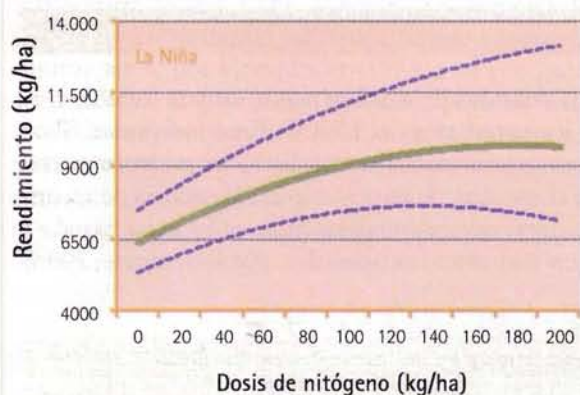
En Pilar las respuestas a la aplicación de este nutriente resultaron de menor magnitud. En los eventos El Niño no se obtuvieron beneficios por encima de los 80-90 kg/ha, y en el caso de La Niña, prácticamente no hubo respuesta; incluso se observaron ligeras disminuciones del rendimiento.

Es importante notar la mayor variabilidad de las respuestas durante los eventos La Niña en ambos sitios (percentil 20 y 80).



Gráfico 2

Respuesta a la fertilización con nitrógeno en las fases extremas del ENOS para Pergamino (Buenos Aires; paneles superiores) y Pilar (Córdoba; paneles inferiores)



La línea llena representa el rendimiento promedio y las líneas punteadas, el percentil 20 y 80. Los rendimientos se simularon utilizando la serie climática histórica de cada localidad.

Fecha de siembra

La fecha de siembra es otra variable que permite manejar los impactos del ENOS. Cuando tiene lugar un evento El Niño, la siembra temprana permite superponer el período crítico de generación del rendimiento con



las condiciones favorables de noviembre y diciembre, más probables en esta fase. En La Niña, por el contrario, los beneficios surgen cuando se atrasa la fecha de siembra. El retraso permite: (a) desplazar la floración hacia principios de enero, momento en que el balance hídrico es menos desfavorable (Forte Lay, 2004); (b) comenzar el ciclo con una mayor recarga de agua en el suelo (si se hace un buen manejo del barbecho) y (c) disminuir la duración de las etapas vegetativas y el consumo de agua en etapas tempranas para alcanzar la floración con una mayor reserva.

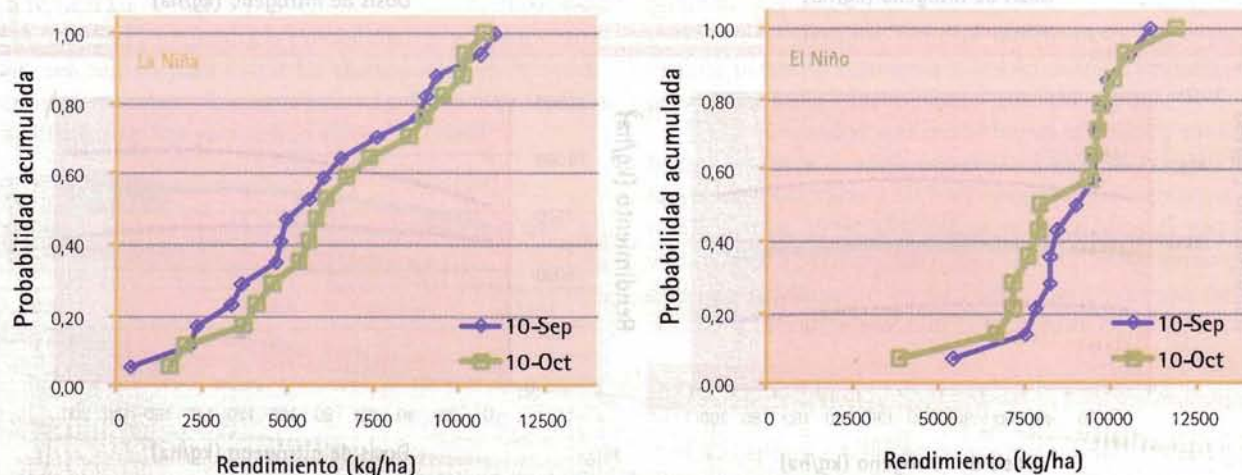
La elección del híbrido por utilizar, junto con la decisión de la fecha de siembra, puede contribuir a ubicar los períodos críticos bajo condiciones favorables. El gráfico 3 muestra la distribución de probabilidad de rendimientos de maíz en Pergamino para una fecha temprana y para otra relativamente tardía en las diversas fases del ENOS. Como resultado, en los eventos La Niña se observan beneficios promedio cercanos a los 600 kilos por hectárea como consecuencia del retraso en la fecha de siembra. Para El Niño, en cambio, se observan ligeras ventajas asociadas con la siembra temprana.

Densidad

La densidad de siembra puede ser una variable crítica ante los escenarios del ENOS. En condiciones favorables, como las asociadas con El Niño, podría incrementarse como una vía para aumentar la captura de recursos y alcanzar mayores rendimientos, en especial cuando no existen limitantes nutricionales (Kruk y Satorre, 2003).

Gráfico 3

Probabilidad acumulada de rendimientos de maíz para diferentes fechas de siembra en las fases extremas del ENOS



Las simulaciones corresponden a Pergamino. Se utilizó la serie climática histórica de dicha localidad.

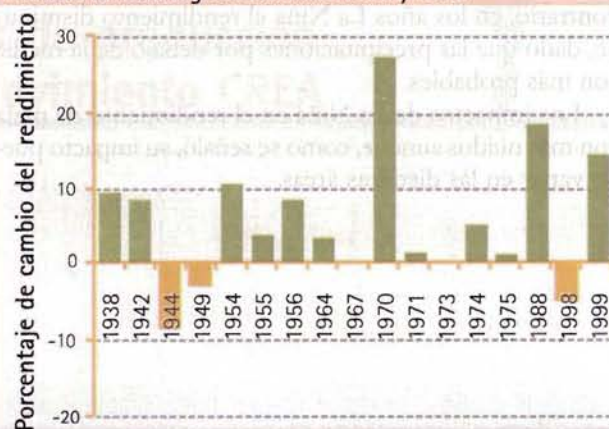
A su vez, las condiciones desfavorables asociadas con La Niña pueden disminuir notablemente la tasa de crecimiento por planta en floración hasta acercarse al valor umbral en que se produce la esterilidad. En estas condiciones, la reducción de la densidad es una estrategia recomendable para evitar el desarrollo de plantas estériles y posibles pérdidas de rendimiento (Andrade et al., 1996). Simulaciones realizadas por Jones et al., (2000) y Royce et al., (2002) demostraron las ventajas de incrementar la densidad de siembra de maíz en El Niño y disminuirla ante un escenario La Niña (cuadro 1).

Sin embargo, cuando se trata de seleccionar las estrategias de producción en respuesta a la información que se posee del ENOS, también es importante considerar la variabilidad intrafase. Por ejemplo, aunque el retraso de la fecha de siembra permita obtener rendimientos promedios mayores en La Niña, esta estrategia podría no ser conveniente ante una Niña anormalmente húmeda. El gráfico 4 muestra las diferencias porcentuales de rendimiento de maíz entre una fecha relativamente tardía (15 de octubre) y otra normal (15 de septiembre) en Pergamino para los eventos La Niña registrados entre 1938 y 1999. Aunque en la mayoría de los casos la siembra tardía resultó la mejor estrategia, en algunos años, por ejemplo, en 1973, con precipitaciones cercanas al promedio histórico, podrían haberse obtenido mejores rendimientos si no se hubiera consi-

derado la información climática, es decir, si se hubiera ignorado el pronóstico y se hubiera sembrado en una fecha normal. El hecho de seleccionar opciones intermedias o diversificar estrategias en diferentes lotes de producción brinda la posibilidad de manejar impactos asociados a la variabilidad intrafase, aunque posiblemente, a expensas de menores resultados promedio.

Gráfico 4

Porcentaje de cambio del rendimiento entre dos fechas de siembra (15 de octubre y 15 de septiembre) para los eventos La Niña registrados entre 1938 y 1999



Las simulaciones se realizaron para condiciones representativas de Pergamino, utilizando la serie climática histórica de dicha localidad.



Comentarios finales

En este capítulo se señaló que el rendimiento de maíz está fuertemente asociado con la variabilidad climática causada por el fenómeno del ENOS, una de las variables de mayor impacto en la región pampeana y, lo que es más importante, la fuente principal de predictibilidad climática. Así, durante las fases El Niño es posible esperar incrementos en los rindes asociados a las mayores precipitaciones de fines de la primavera y comienzos del verano, que usualmente se observan en esta fase. Por el contrario, en los años La Niña el rendimiento disminuye, dado que las precipitaciones por debajo de la media son más probables.

Los impactos de La Niña en el rendimiento de maíz son más nítidos aunque, como se señaló, su impacto puede variar en las distintas áreas.

Para atenuar las reducciones de rendimiento de La Niña y capitalizar las condiciones favorables asociadas a El Niño, el manejo de maíz puede ser modificado. Sobre la base de resultados de ejercicios de simulación se demostró que las respuestas del cultivo a las tecnologías aplicadas varían en función de la fase del ENOS, con menores respuestas a la fertilización en las fases La Niña (y mayores en El Niño). También se mostraron las ventajas de retrasar la fecha de siembra en las fases La Niña y los beneficios de realizar siembras tempranas en El Niño. Finalmente, se discutieron los posibles beneficios de disminuir la densidad ante un evento La Niña e incrementarla frente a El Niño.

Por lo expuesto, las respuestas diferenciales de las tecnologías estimulan la utilización de la información climática relacionada con el ENOS como una valiosa herramienta que permite atenuar el impacto de la variabilidad climática 🌱

