

Riesgos climáticos para el cultivo de maíz en el centro-sudeste bonaerense: A. Temperaturas extremas

Panunzio Moscoso, M. P.; A. I. Irigoyen, A. I. Della Maggiora y R.H. Rizzalli

RESUMEN

Deficiencias de agua y temperaturas extremas son factores limitantes en la producción de maíz que a menudo provocan importantes pérdidas económicas. Los impactos dependen del estado fenológico del cultivo cuando la adversidad ocurre, la intensidad y el tiempo de exposición. El objetivo del trabajo fue evaluar el riesgo climático para la producción de maíz en el centro-sudeste bonaerense, debido a la exposición a temperaturas extremas. Los escenarios agrícolas seleccionados para la evaluación combinaron seis fechas de siembra y tres ciclos de madurez en las localidades de Azul, Tandil, Balcarce y Mar del Plata. Las estaciones de crecimiento (serie 1971-2010) fueron simuladas mediante un modelo de desarrollo basado en la temperatura del aire. El riesgo de daño por heladas en estados tempranos del desarrollo del cultivo fue determinado, en cada localidad, a partir de la ocurrencia de la adversidad después de la fecha estimada del estado de cuatro hojas expandidas (V4) para cada fecha de siembra. El riesgo de heladas antes de la fecha de madurez fisiológica (R6) del cultivo fue determinado en cada localidad para los escenarios de fecha de siembra x ciclo. Se determinó la frecuencia relativa de días con temperatura máxima mayor a 30 °C durante la estación de crecimiento y en el período crítico para la definición de rendimiento. En siembras tempranas, siempre hay mayor riesgo de daños para el cultivo, debido a la ocurrencia de heladas tardías después de V4. A medida que se atrasa la siembra, el riesgo disminuye en toda la región. Balcarce presentó menor riesgo de heladas tardías. Los escenarios de siembras tardías y ciclos largos aumentan el riesgo de heladas durante el llenado de granos. En Azul y Tandil se observa mayor frecuencia de años con heladas antes de R6. Ambas localidades muestran una tendencia significativa a adelantar las heladas tempranas. El riesgo asociado a temperaturas elevadas es menor que el riesgo por heladas. Los escenarios evaluados muestran que el riesgo de exposición a temperaturas elevadas es mayor en Azul.

Palabras clave: fechas de siembra, ciclos de madurez, heladas, temperaturas elevadas

Panunzio Moscoso, M. P.; A. I. Irigoyen, A. I. Della Maggiora and R.H. Rizzalli, 2016. Climate risks in maize crop in the southeastern of Buenos Aires Province: A. Extreme temperatures. RADA VII: 41-56

SUMMARY

Water deficiencies and extremes temperatures are two environmental factors that limit maize production, often causing extensive economic losses. The impacts on crop depend upon the growth stage when adverse condition occurs, intensity and time of exposure. The objective was to assess the climatic risks for maize production due extreme temperatures in southeastern of Buenos Aires. Six planting dates and three cultivars with contrasting maturity were selected for the simulation scenarios. The maize growing season agroclimatology (1971-2010) was based on a simple model of crop development using growing degree-days as estimator. The approach was performed for four locations of the region. Dates of key stages of development (V4, R1 and R6) were predicted. A subperiod of development was considered as completed when a given accumulation of daily temperatures above the base temperature (8 °C) has been achieved from planting (P), under the assumption of no other limiting conditions than temperature. Frost risks were computed from the occurrence of frosts after V4 and before R6 stages for each scenario. Relative frequency of days with maximum temperature above 30°C was computed for critical period and growing season. Late frosts are less frequent at Balcarce. Late planting should be avoided for long season cultivars. Early maturing cultivars and middle planting dates are more suitable options to reduce the frost damage risks in maize across all area. Scenarios with early planting had risks of occurrence of late frosts after V4 stage, whereas scenarios with late planting and long season cultivars increased the frost risks during the grain filling period. Frosts before R6 stage are most frequent at Azul and Tandil. Moreover, significant trends to anticipate the occurrence of early frosts were detected over time in both locations. In general, stress due to elevated temperatures is less feasible than damages by frost. The scenarios performed showed that the crop has more exposure to stress due elevated temperatures in Azul.

Key-words: planting date, contrasting maturity cultivars, frosts, high temperature

M.P. Panunzio Moscoso, A. I. Irigoyen, A. I. Della Maggiora y R.H. Rizzalli: Unidad Integrada Balcarce: Facultad de Ciencias Agrarias UNMdP -INTA Balcarce. Ruta Nac. 226, km 73,5, Balcarce CC 276 (7620), Argentina. Correspondencia a: irigoyen.andrea@inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria es una de las actividades más expuestas a los riesgos climáticos. Las evidencias de cambio climático son contundentes y a su vez, la frecuencia de eventos extremos ha incrementado (IPCC, 2013). Los sistemas productivos dependientes del tiempo y clima se han tornado, entonces, cada vez más vulnerables (FAO, 2009).

La evaluación de riesgos para un sistema específico requiere identificar los alcances de algunos términos relacionados como la amenaza y la vulnerabilidad. La amenaza involucra un factor externo que puede causar perjuicios en un lugar específico, con determinada intensidad y duración. En términos agrometeorológicos, la caracterización de la amenaza se corresponde con la caracterización de la adversidad. La vulnerabilidad indica la susceptibilidad de un sistema que se encuentra expuesto a un factor adverso. En el caso de la producción agrícola, la vulnerabilidad implica la pérdida de rendimiento o incluso la pérdida total

del cultivo debido a su exposición a la condición adversa. El riesgo resulta de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

En la región pampeana, principal área agrícola del país, se han detectado cambios en los patrones climáticos y en la producción agrícola (Magrin *et al.*, 2005; Barros, 2007, Magrin *et al.*, 2007; Travasso *et al.*, 2007; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2015). Fernández Long *et al.* (2013) indicaron un calentamiento regional sobre el área agrícola de Argentina, debido principalmente al aumento de las temperaturas mínimas. No obstante, las tendencias de los índices bioclimáticos basados en la temperatura no se distribuyeron de manera uniforme en toda la región. Los cambios observados en índices bioclimáticos pueden indicar cambios en las estaciones de crecimiento de los cultivos.

En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Irigoyen *et al.* (2011) han descripto una tendencia creciente en los grados-días acumulados durante dos trimestres que son coincidentes con la estación de crecimiento del cultivo de maíz para

un conjunto de combinaciones de prácticas de manejo. En virtud de las tendencias descritas en los índices bioclimáticos, se esperan cambios en la ocurrencia de estados fenológicos sensibles del cultivo y así sobre el tiempo y el grado de exposición a las amenazas, que también pueden cambiar en el tiempo.

La valoración simultánea de la variabilidad de las amenazas y de la variabilidad de la ocurrencia de los períodos susceptibles del cultivo permite cuantificar los riesgos y contribuir a la toma de decisiones de manejo agrícola.

En ese sentido, la generación de escenarios agrícolas (estaciones de crecimiento asociadas a prácticas de manejo), a partir de modelos de simulación del desarrollo del cultivo con base en series meteorológicas, provee información factible de ser analizada probabilísticamente y como serie de tiempo.

Deficiencias de agua y temperaturas extremas son factores limitantes de la producción de maíz, que a menudo provocan importantes pérdidas económicas. En este trabajo fue abordado el análisis de riesgo por temperaturas extremas.

Una helada tardía puede provocar serios daños al cultivo, especialmente si ocurre en estados de desarrollo sensibles a bajas temperaturas. Después de cuatro hojas desarrolladas (V4), la helada es perjudicial porque el ápice de crecimiento de la planta de maíz comienza a elongarse y emerge sobre la superficie del suelo (Ritchie *et al.* 1997, Nielsen, 2008). Por su parte, las heladas tempranas también pueden producir severos daños hacia fin de ciclo, interrumpiendo el período de llenado de granos, provocando así, disminución de rendimiento (Andrade *et al.*, 1996). De esa forma se pueden identificar dos momentos claves para definir los períodos durante la estación de crecimiento (EC), en los cuales el cultivo es susceptible a bajas temperaturas.

Además de los daños previstos por bajas temperaturas, algunos perjuicios a la producción pueden originarse por temperaturas elevadas durante la fijación de granos (Cheikh & Jones, 1994; Cárcova & Otegui, 2001; Cicchino *et al.*, 2010 a; Rattalino Edreira *et al.*, 2011; Rattalino Edreira & Otegui, 2012) e incluso por efectos en la fenología, retrasando la floración y reduciendo las tasas de desarrollo (Cicchino *et al.*, 2010 b). Por esa razón, pueden considerarse vulnerables a temperaturas elevadas, tanto el período crítico del cultivo para la determinación del rendimiento (PC) como la estación completa de crecimiento (EC), aunque sea con diferente grado de susceptibilidad,

Cambios en la distribución temporal de las

amenazas y en el momento de ocurrencia de los estados sensibles han sido descritos, mediante el análisis de las series de tiempo, en la región sudeste de Buenos Aires. Robles *et al.* (2012), a partir del análisis de la serie histórica 1971-2010 de la localidad de Balcarce, reportaron que en las últimas décadas disminuyó el riesgo de daños por heladas tardías en fechas de siembra tempranas, para cultivares de ciclo intermedio. Por otra parte, algunas diferencias en el ambiente térmico, asociadas a diferentes escenarios agrícolas generados por las fechas de siembra, han permitido detectar diferencias en el desarrollo simulado de cultivares de ciclo intermedio (Balbuena, 2006; Irigoyen *et al.*, 2011).

Aún cuando se dispone de alguna información local y regional sobre la variabilidad climática y sobre algunos efectos de la fecha de siembra sobre el desarrollo del cultivo, se debería evaluar un conjunto más completo de posibles escenarios que incluyan también el efecto de la duración de la estación de crecimiento (cultivares de diferente madurez).

El objetivo principal fue evaluar el riesgo climático debido a temperaturas extremas para la producción de maíz en el centro-sudeste bonaerense, mediante el análisis probabilístico del desarrollo simulado del cultivo para escenarios agrícolas que combinan diferentes fechas de siembra y ciclos de madurez. Los objetivos específicos para cada escenario agrícola y localidad fueron: a) confeccionar series históricas de la estación de crecimiento del cultivo de maíz a partir de un modelo de simulación del desarrollo basado en la temperatura del aire; b) determinar el riesgo de daños por heladas en estados de desarrollo sensibles a la adversidad; c) determinar la frecuencia de ocurrencia de temperaturas elevadas durante la estación de crecimiento y el período crítico para la determinación del rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escenarios agrícolas por simulación del desarrollo del cultivo

Los escenarios agrícolas evaluados en cuatro localidades de la zona centro-sudeste de Buenos Aires (Tabla 1) fueron generados combinando seis fechas de siembra, desde fines de septiembre (25-09) hasta mediados de noviembre (15-11) y tres ciclos de madurez del cultivo de maíz (corto, intermedio y largo).

La estación de crecimiento (EC) en cada escenario (fecha de siembra x ciclo) fue simulada para cada localidad y cada campaña agrícola (1971-1972 a 2009-2010), mediante un modelo simple

de desarrollo del cultivo basado en el concepto de tiempo térmico (Ritchie y NeSmith, 1991). Un subperíodo específico se consideró completo cuando fue alcanzada una determinada suma térmica preestablecida por encima de la temperatura base del cultivo (8 °C). Si bien existe una variedad de modelos de predicción fenológica basados en la relación entre desarrollo y temperatura (Kumudini *et al.*, 2014), la simplicidad de cálculo fue el criterio seguido para seleccionar el modelo residual. En este modelo, el tiempo térmico se determina como la sumatoria de las diferencias entre la temperatura media diaria del aire y la temperatura base.

La duración de la estación de crecimiento (EC) para cada escenario y cada campaña agrícola (1971-1972 a 2009-2010) quedó definida como el período comprendido entre la siembra (S) y la fecha estimada de madurez fisiológica (R6). La ocurrencia de otros estados fenológicos claves para la definición de riesgos debidos a temperaturas extremas, como cuatro hojas desarrolladas (V4) y floración (R1), también se estimó con base en los requerimientos térmicos informados por la literatura. El cultivo de maíz requiere aproximadamente 60 °Cd para desarrollar cada hoja (Cirilo, 1994) y no se consideraron, en este trabajo, diferencias en el tiempo térmico requerido para alcanzar V4 (240 °Cd) entre los cultivares de diferente madurez. Los requerimientos térmicos utilizados para simular las fechas de ocurrencia de R1 y R6 (Tabla 2) fueron seleccionados a partir de la información reportada para un grupo de cultivares empleados en la zona de estudio (Capristo *et al.*, 2007). Se consideró período crítico (PC) para la definición de rendimiento el período que se extiende desde 20 días antes a 20 días después de la floración (R1).

Tabla 1. Ubicación geográfica de las localidades en estudio.

Localidad	Latitud	Longitud	Altura sobre nivel del mar (m)
Azul	-36° 50'	59° 51'	132
Tandil	-37° 19'	59° 08'	175
Balcarce	-37° 45'	58° 18'	130
Mar del Plata	-38° 00'	57° 32'	21

Tabla 2. Requerimiento térmico de los subperíodos siembra-floración (S-R1) y floración-madurez fisiológica (R1-R6) para cultivares de maíz de corta (Ciclo 1), intermedia (Ciclo 2) y larga (Ciclo 3) duración de la estación de crecimiento (EC).

Cultivar	Tiempo térmico (°Cd)	
	S-R1	R1-R6
Ciclo 1	660	840
Ciclo 2	760	870
Ciclo 3	870	860

La variabilidad de la EC para cada escenario (fecha de siembra x ciclo) fue descripta mediante la variabilidad interanual en las fechas de ocurrencia de estados clave y en la duración de subperíodos fenológicos. Se calcularon estadísticos descriptivos básicos para las fechas de ocurrencia de V4, R1 y R6. Se utilizó el test de Shapiro-Wilks ($p > 0,05$) para evaluar la normalidad de la duración de los subperíodos fenológicos. Se realizaron comparaciones entre los escenarios por localidad y entre las localidades por escenario. Se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$), por suma de rangos, para evaluar las diferencias entre grupos: a) entre las fechas de siembra para cada localidad y para cada ciclo y b) entre las localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez). El test de Tukey fue aplicado cuando se detectaron diferencias significativas entre los grupos en la distribución de frecuencias.

Se aplicó el análisis de correlación de Spearman ($p < 0,05$) para evaluar las tendencias en las series de tiempo para cada escenario y localidad en: a) la duración de la EC y de subperíodos fenológicos EC; b) fechas de ocurrencia de eventos fenológicos clave (V4, R1 y R6).

Ocurrencia de heladas durante períodos susceptibles del cultivo

Las series de temperatura mínima del aire (1971-2010) de las cuatro localidades fueron empleadas para determinar la ocurrencia de heladas meteorológicas (HM), temperaturas iguales o inferiores a 0°C registradas en abrigo meteorológico.

Para caracterizar la variabilidad de la amenaza se determinaron, para cada localidad, las fechas media y extrema de últimas heladas (FMUHM y FEUHM) y de primeras heladas (FMPHM y FEPHM) de la serie histórica.

La exposición del cultivo a bajas temperaturas fue descripta según dos subperíodos susceptibles: a) ocurrencia de HM después del estado de cuatro hojas desarrolladas (V4) y b) ocurrencia de HM antes de la madurez fisiológica (R6).

El riesgo de daño por heladas en estados tempranos del desarrollo del cultivo fue evaluado en cada localidad a partir de la ocurrencia de la adversidad (amenaza) después de la fecha estimada del estado V4 (período vulnerable) para cada fecha de siembra. Se representó el riesgo en estados tempranos mediante gráficos box-plot (mediana, cuartiles 1 y 3, valores máximo y mínimo) con la distribución de frecuencia de las fechas estimadas de ocurrencia del estado V4 en cada escenario en comparación con las fechas media y extrema de

última helada de cada localidad.

Se consideraron escenarios libres de riesgo en estados tempranos de desarrollo aquellos escenarios cuya fecha estimada de ocurrencia de V4 fue siempre posterior a la fecha extrema de última HM (FEUHM) de la serie histórica. Por su parte, cualquier escenario con la ocurrencia estimada de V4 durante el período con heladas (previo a la FEUHM) representa algún nivel de riesgo para el cultivo.

En cada localidad, el nivel de riesgo de heladas en estadios tempranos se cuantificó mediante el análisis probabilístico de la ocurrencia de la amenaza durante el período susceptible. Se empleó el descriptivo número de años con HM, ya que la ocurrencia de una única helada durante la campaña agrícola puede ocasionar daño. Se representó la frecuencia relativa de campañas agrícolas en la serie histórica con al menos una HM después de la fecha estimada de V4 (FRHM después de V4) para cada fecha de siembra.

El riesgo de heladas en los estados avanzados del cultivo fue evaluado en cada localidad a partir de la ocurrencia de la adversidad (amenaza) durante el llenado y antes de la fecha estimada de R6 (período vulnerable), de acuerdo a los escenarios (fecha de siembra x ciclo del cultivo). Se representó el riesgo en estados avanzados mediante gráficos box-plot (mediana, cuartiles 1 y 3, valores máximo y mínimo) con la distribución de frecuencia de las fechas estimadas de ocurrencia del estado R6 en cada escenario en comparación con las fechas extrema y media de primera helada de cada localidad.

Se consideraron como escenarios libres de riesgo en estados avanzados de desarrollo a aquellos escenarios cuya fecha estimada de ocurrencia de R6 es siempre previa a la fecha extrema de primera HM de la serie histórica (FEPHM). Por su parte, cualquier escenarios con la ocurrencia de R6 durante el período con heladas (posterior a FEPHM) representa algún nivel de riesgo para el cultivo.

En cada localidad, el nivel de riesgo de heladas en estadios avanzados se cuantificó mediante el análisis probabilístico de la ocurrencia de la amenaza durante el período susceptible. Se representó la frecuencia relativa de campañas agrícolas en la serie histórica con al menos una HM antes de la fecha estimada de R6 (FRHM antes de R6) para cada escenario.

Se establecieron cuatro categorías para describir el nivel de riesgo de acuerdo a la frecuencia relativa de ocurrencia: bajo (0 a 0,25), moderado a bajo (0,26 a 0,50), moderado a alto (0,51 a 0,75) y alto (0,76 a 1,00).

Se aplicó el análisis de correlación de Spearman ($p < 0,05$) para evaluar la presencia de tendencias en las series de tiempo de las fechas medias de ocurrencia de heladas tempranas (FMPHM) y tardías (FMUHM) en cada localidad.

Ocurrencia de condiciones de estrés por temperaturas elevadas

Las series históricas (1971-2010) de temperatura máxima del aire (T_{max}) de las cuatro localidades fueron empleadas para determinar la ocurrencia de condiciones de estrés por elevadas temperaturas, considerando como una amenaza la ocurrencia de T_{max} superior a 30°C .

La exposición a temperaturas elevadas fue descripta para dos subperíodos con diferente susceptibilidad: a) estación de crecimiento (EC) y b) período crítico para la definición de rendimiento (PC).

El número de días con temperatura máxima mayor a 30°C (NDTM30) durante la estación de crecimiento (EC) y durante el período crítico (PC) del cultivo fue calculado para cada una de las campañas analizadas (1971-2010) en cada localidad y para cada uno los escenarios (fecha de siembra x ciclo). Se representó la variabilidad interanual de la amenaza de temperaturas elevadas mediante gráficos boxplots (mediana, cuartiles 1 y 3, valores máximo y mínimo) con la distribución de frecuencia de NDTM30 durante el PC y la EC. Se consideró al cociente entre NDTM30 y la duración del período analizado (EC o PC) como un indicador del grado de exposición a condiciones adversas por temperaturas elevadas (ExpTM30).

Se realizaron comparaciones para NDTM30 durante la EC y el PC, como así también para el tiempo de exposición (ExpTM30, como fracción) a condiciones adversas en la EC, entre los escenarios por localidad y entre las localidades por escenario. Se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$), por suma de rangos, para evaluar las diferencias entre grupos: a) entre las fechas de siembra para cada localidad y ciclo y b) entre las localidades para cada escenario. El test de Tukey fue aplicado cuando se detectaron diferencias significativas en la distribución de frecuencias entre los grupos.

Se aplicó el análisis de correlación de Spearman ($p < 0,05$) para evaluar la presencia de tendencias en las series de tiempo de NDTM30 en cada localidad y escenario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estación de crecimiento (EC) en escenarios por simulación del desarrollo del cultivo

En toda la región, la mediana de la duración de la estación de crecimiento (EC) del cultivo de maíz varió desde 125 a 160 días para los cultivares de ciclo corto, 137 a 171 para los cultivares de ciclo intermedio y 150 a 180 para los cultivares de ciclo largo (Tabla 3). Se observaron diferencias significativas entre las fechas de siembra (FS) en la duración de la EC, con tendencia a acortarse a medida que se retrasa la fecha de siembra. Entre las fechas de siembra tardías, 25-10, 5-11 y 15-11, no se encontraron diferencias significativas en Azul, Mar del Plata y Tandil, con excepción de esta última para ciclo largo. En Balcarce no se encontraron diferencias significativas entre las últimas dos fechas de siembra.

No se encontraron diferencias significativas en la duración de la EC entre las localidades de Mar del Plata, Tandil y Balcarce, pero sí entre éstas y Azul. En Azul, la estación fue más corta en todas las fechas de siembra y para los tres cultivares. La duración máxima extrema de la EC se obtuvo en el escenario de cultivares de ciclo largo y siembra tardía con 232 días en Azul y 326 días en Balcarce (datos no mostrados). Se ha reportado que las estaciones de crecimiento más extendidas coinciden con campañas agrícolas con eventos La Niña, cuando fue evaluado un cultivar de madurez intermedia (Irigoyen *et al.*, 2011a).

La duración del subperíodo S-R1 para cada ciclo de madurez se redujo, en cada localidad, en las siembras tardías, pero no se observaron diferencias significativas entre dos fechas de siembra consecutivas (Tabla 4). Al comparar los escenarios (fecha de siembra x ciclo de madurez) entre las localidades, se detectaron diferencias significativas en la duración del subperíodo S-R1, siendo

Tabla 3. Valores medianos de la duración de la estación de crecimiento de maíz (EC) en el centro-sudeste bonaerense, bajo escenarios con seis fechas de siembra (FS) y tres ciclos de madurez.

Localidad	FS	Duración (días)								
		Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
Azul	25-09	146	a	B	156	a	B	165	a	B
	05-10	140	ab	B	151	ab	B	159	ab	B
	15-10	134	bc	B	145	bc	B	154	bc	B
	25-10	131	cd	B	142	cd	B	152	c	B
	05-11	127	d	B	139	d	B	150	c	B
	15-11	125	d	B	137	d	B	150	c	B
Tandil	25-09	154	a	A	166	a	A	176	a	A
	05-10	149	ab	A	162	ab	A	172	ab	A
	15-10	143	bc	A	156	bc	A	168	b	A
	25-10	140	cd	A	153	c	A	168	b	A
	05-11	137	d	A	152	c	A	168	b	A
	15-11	135	d	A	152	c	A	174	a	A
Balcarce	25-09	160	a	A	171	a	A	180	c	A
	05-10	151	ab	A	163	ab	A	173	a	A
	15-10	146	bc	A	158	bc	A	168	ab	A
	25-10	141	c	A	154	bc	A	166	b	A
	05-11	137	cd	A	150	c	A	162	b	A
	15-11	135	d	A	152	c	A	165	ab	A
Mar del Plata	25-09	158	a	A	170	a	A	180	a	A
	05-10	152	ab	A	165	ab	A	175	ab	A
	15-10	147	bc	A	159	bc	A	170	b	A
	25-10	144	cd	A	156	c	A	169	b	A
	05-11	139	d	A	154	c	A	168	b	A
	15-11	136	d	A	153	c	A	171	b	A

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo). Ciclo 1: ciclo corto, Ciclo 2: ciclo intermedio, Ciclo 3: ciclo largo.

menor para la mayoría de las fechas de siembra en las localidades de Tandil y Azul. La duración del subperíodo R1-R6 fue más corta en Azul respecto de las restantes localidades, las cuales no se diferenciaron significativamente entre ellas (Tabla 5). Los valores máximos de la duración del subperíodo R1-R6 se distanciaron por unos 100 días entre Balcarce y Azul (datos no presentados).

Cabe destacar que la menor diferencia entre los ciclos de madurez en la duración del subperíodo reproductivo con respecto al subperíodo S-R1 está relacionada, en parte, con una menor diferencia entre ciclos en el requerimiento térmico (Tabla 2), aunque también con una mayor variabilidad interanual en la duración del mismo. La importancia de la duración de estos subperíodos reproductivos radica en que ha sido asociada positivamente con el rendimiento en grano, cuando fue evaluado en Balcarce para diferentes ciclos de madurez (Castrillo *et al.*, 2007).

Ocurrencia de heladas durante períodos susceptibles del cultivo

Dado que se consideró igual requerimiento térmico desde la siembra hasta la fase de cuatro hojas desarrolladas (V4) para todos los ciclos de madurez, se evaluaron solamente las combinaciones de fechas de siembra y localidades para caracterizar el riesgo en estados tempranos de desarrollo del cultivo.

En la Figura 1 se presentan por cada localidad las fechas de ocurrencia de heladas meteorológicas (HM) tardías (media y extrema) y la variabilidad interanual en las fechas de ocurrencia de V4 para cada fecha de siembra. El estado V4 siempre ocurrió después de la fecha media de última helada meteorológica (FMUHM) en cualquiera de los escenarios. Por esa razón, los riesgos de heladas meteorológicas (HM) luego de V4 quedaron determinados en el período entre la fecha media y la fecha extrema de última helada. En todas las localidades, el cultivo estuvo libre de riesgo por heladas

Tabla 4. Valores medianos de la duración del subperíodo siembra-floración de maíz (S-R1) en el centro-sudeste bonaerense, bajo escenarios con seis fechas de siembra (FS) y tres ciclos de madurez.

Localidad	FS	Duración (días)								
		Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
Azul	25-09	83	a	B	91	a	B	99	a	B
	05-10	77	ab	B	85	ab	B	93	ab	B
	15-10	73	bc	B	78	bc	B	86	bc	B
	25-10	66	cd	B	73	cd	B	82	cd	B
	05-11	61	de	B	69	de	B	77	de	B
	15-11	57	e	B	64	e	B	72	e	B
Tandil	25-09	88	a	AB	97	a	AB	104	a	A
	05-10	81	ab	A	89	ab	AB	97	ab	A
	15-10	76	bc	AB	83	bc	AB	91	bc	AB
	25-10	69	cd	AB	77	cd	AB	85	cd	AB
	05-11	65	de	AB	72	de	AB	81	de	AB
	15-11	60	e	AB	68	e	AB	76	e	AB
Balcarce	25-9	92	a	A	99	a	A	108	a	A
	05-10	83	ab	A	91	ab	A	99	ab	A
	15-10	77	bc	A	84	bc	A	92	bc	A
	25-10	71	cd	A	78	cd	A	87	cd	A
	05-11	65	de	A	75	de	A	83	de	A
	15-11	61	e	A	69	e	A	78	e	A
Mar del Plata	25-09	91	a	A	97	a	A	106	a	A
	05-10	84	ab	A	91	ab	A	99	ab	A
	15-10	77	bc	A	85	bc	A	93	bc	A
	25-10	71	cd	A	79	cd	A	88	cd	A
	05-11	66	de	A	74	de	A	83	de	A
	15-11	62	e	A	70	e	A	79	e	A

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo). Ciclo 1: ciclo corto, Ciclo 2: ciclo intermedio, Ciclo 3: ciclo largo.

Tabla 5. Valores medianos de la duración del subperíodo floración-madurez fisiológica de maíz (R1-R6) en el centro-sudeste bonaerense, bajo escenarios con seis fechas de siembra (FS) y tres ciclos de madurez.

Localidad	FS	Duración (días)								
		Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3		
Azul	25-09	63	b	B	65	b	B	67	d	B
	05-10	63	b	B	65	b	B	68	cd	B
	15-10	63	b	B	67	b	B	69	cd	B
	25-10	64	b	B	69	ab	B	71	bc	B
	05-11	66	ab	B	71	a	B	74	ab	B
	15-11	68	a	B	73	a	B	78	a	B
Tandil	25-09	68	b	A	72	d	A	74	d	A
	05-10	67	b	A	72	cd	A	74	cd	A
	15-10	69	b	A	74	c	A	77	c	A
	25-10	71	ab	A	76	bc	A	81	bc	A
	05-11	72	a	A	80	ab	A	87	ab	A
	15-11	74	a	A	83	a	A	97	a	A
Balcarce	25-09	68	b	A	72	c	A	73	c	A
	05-10	69	b	A	73	bc	A	74	c	A
	15-10	69	ab	A	73	bc	A	76	c	A
	25-10	70	a	A	74	abc	A	81	bc	A
	05-11	71	a	A	78	ab	A	85	ab	A
	15-11	72	a	A	84	a	A	90	a	A
Mar del Plata	25-09	69	b	A	73	c	A	75	c	A
	05-10	69	b	A	74	bc	A	75	c	A
	15-10	70	ab	A	74	bc	A	76	c	A
	25-10	71	ab	A	77	bc	A	78	bc	A
	05-11	73	ab	A	78	ab	A	84	ab	A
	15-11	74	a	AB	82	a	AB	87	a	AB

Se indican solamente los contrastes que resultaron significativos (Kruskal Wallis <0,05). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo). (Ciclo 1: ciclo corto, Ciclo 2: ciclo intermedio, Ciclo 3: ciclo largo).

tardías en la última fecha de siembra (15-11), ya que el estado de V4 ocurrió en todas las campañas agrícolas con posterioridad a la fecha extrema de última HM (FEUHM). En el caso particular de Balcarce, esto fue válido para las últimas tres fechas de siembra. En todos los demás escenarios analizados para esas localidades existió riesgo de daño en estados tempranos y, que de esa forma, se afecte al rendimiento del cultivo.

De modo general, las fechas de siembra más tempranas son las que presentaron mayor riesgo de ocurrencia de heladas luego de V4 en todas las localidades. Balcarce y Tandil fueron las localidades con menor frecuencia relativa de ocurrencia de años con HM luego de V4 en las dos primeras fechas de siembra, no detectándose diferencias entre las localidades evaluadas para las fechas de siembra del 05-11 al 15-11 (Figura 2).

En la Figura 3 se muestra la variabilidad interanual de las fechas de ocurrencia de madurez fisiológica (R6) según los escenarios evaluados jun-

to con las fechas media y extrema de ocurrencia de primeras heladas en cada localidad. Se distingue en la zona, la localidad de Azul donde las primeras heladas (FEPHM y FMPHM) ocurrieron más anticipadamente. Solamente los escenarios con fechas de siembra tempranas y cultivares de ciclo corto (ciclo 1) estuvieron libres de riesgo en todas las localidades. Los escenarios de fechas de siembras tardías y ciclos largos aumentaron la exposición del cultivo a heladas tempranas (la distribución de frecuencias de ocurrencia de R6 se ubica en su mayor parte después de la FEPHM). Por su parte, en Mar del Plata las heladas tempranas ocurrieron más tardíamente (30 días en promedio comparado con Azul) y por esa razón, hubo menor exposición a heladas antes de R6 para los tres ciclos y todas las fechas de siembra. En esta localidad todos los escenarios con cultivares de ciclo corto estuvieron completamente libres de riesgo (la distribución de frecuencias de ocurrencia de R6 se ubica completamente antes de la FEPHM), con excepción de

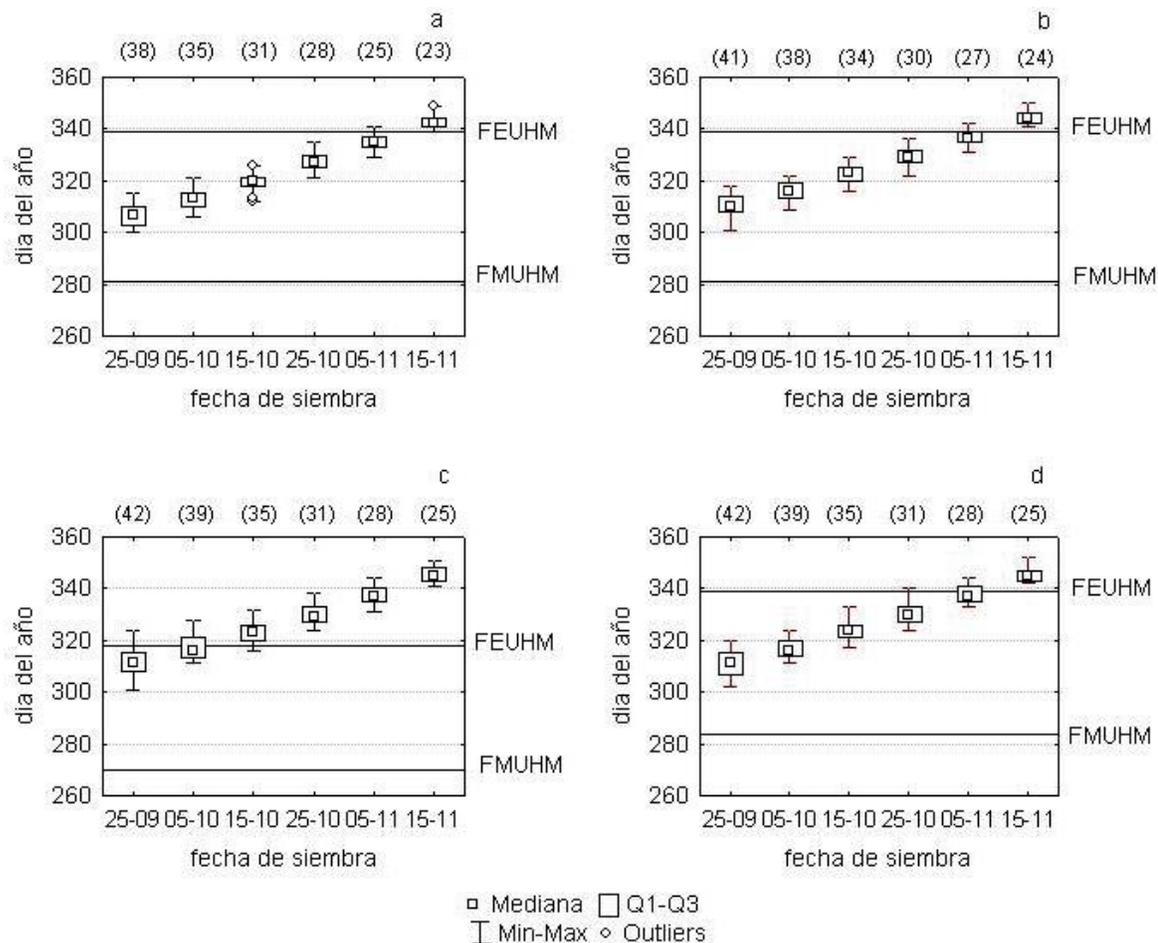


Figura 1. Variabilidad interanual de las fechas de ocurrencia del estado de cuatro hojas desarrolladas de maíz (V4) según fecha de siembra y localidad. a. Azul. b. Tandil. c. Balcarce. d. Mar del Plata. Las líneas enteras indican las fechas media y extrema de ocurrencia de últimas heladas meteorológicas en cada localidad (serie 1971-2010). FMUHM: fecha media de última helada meteorológica. FEUHM: fecha extrema de última helada meteorológica. Entre paréntesis se indica la duración del subperíodo siembra-V4.

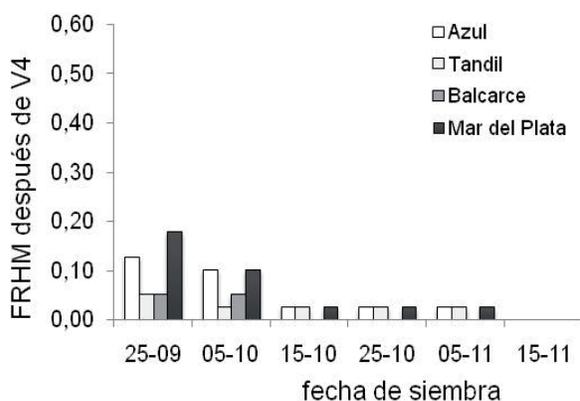


Figura 2. Frecuencia relativa de ocurrencia de años con heladas meteorológicas en localidades del centro-sudeste bonaerense (serie 1971-2010) después del estado de cuatro hojas desarrolladas de maíz (FRHM después de V4) según fecha de siembra.

una campaña con valor extremo en la última fecha de siembra).

En las cuatro localidades, las fechas de siembra tempranas, estuvieron libres de riesgo de daños por heladas meteorológicas hacia fines de ciclo del cultivo cualquiera sea el ciclo de madurez. En Tandil y Balcarce, todos los escenarios con cultivares de ciclos largo estuvieron expuestos a heladas antes de R6. La variabilidad interanual de las fechas de ocurrencia de R6, de modo general, aumenta con el atraso en la fecha de siembra y con el aumento en la longitud del ciclo.

En la Figura 4 se presenta la frecuencia relativa de años con ocurrencia de heladas meteorológicas (FRHM) antes de R6 para los diferentes ciclos de madurez. De modo general, los ciclos cortos prácticamente no exhibieron riesgo por heladas

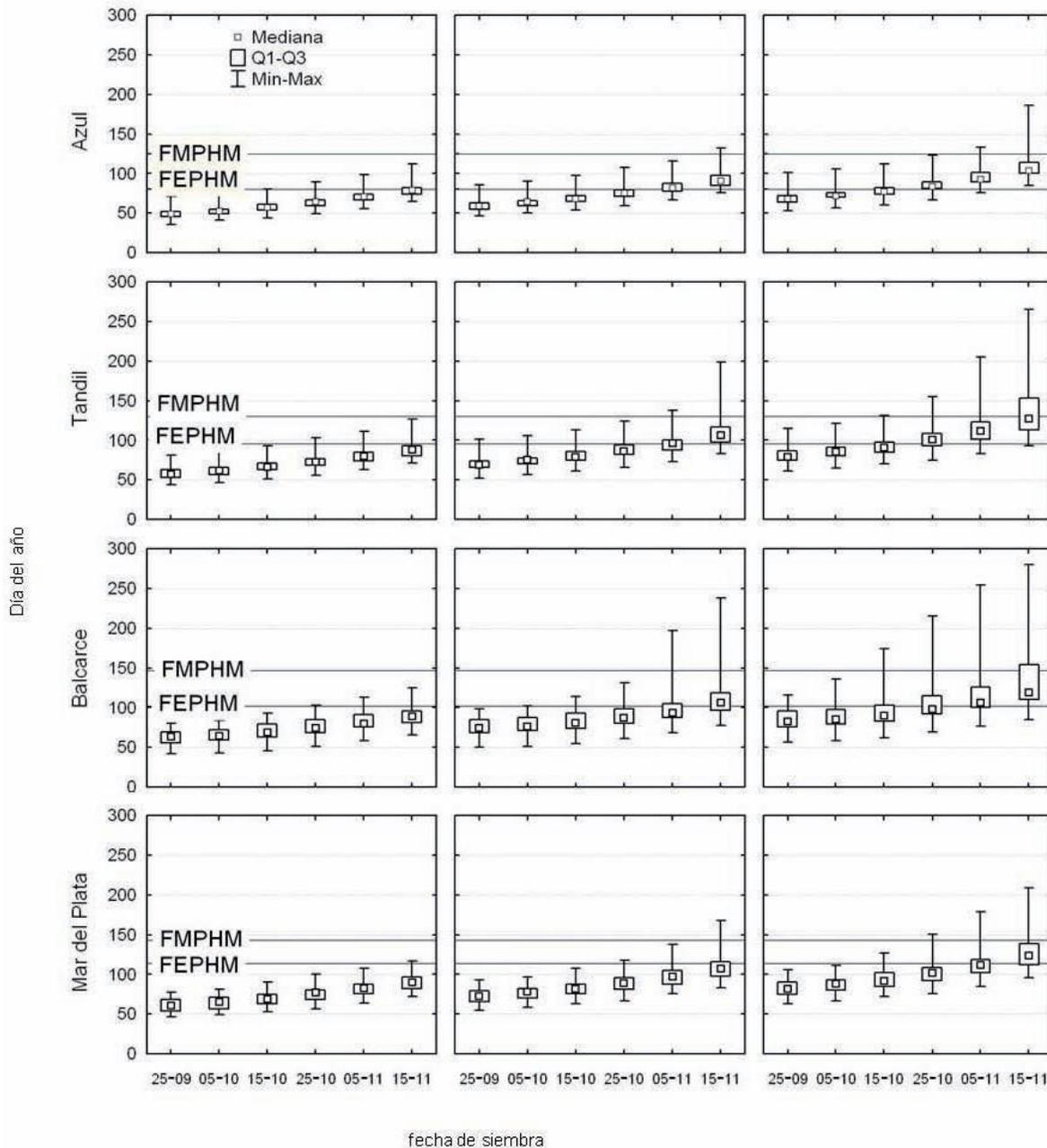


Figura 3. Variabilidad interanual de las fechas de ocurrencia del estado de madurez fisiológica de maíz (R6) según fecha de siembra, ciclo de madurez y localidad. a. Azul. b. Tandil. c. Balcarce. d. Mar del Plata. Las líneas enteras indican las fechas media y extrema de ocurrencia de primeras heladas meteorológicas en cada localidad (serie 1971-2010). FMPHM: fecha media de primera helada meteorológica. FEPHM: fecha extrema de primera helada meteorológica.

tempranas, mientras que los intermedios y largos estuvieron expuestos a mayor riesgo en siembras tardías. La FRHM antes de R6 aumenta con ciclos más largos y con el retraso en la fecha de siembra. Los ciclos largos están expuestos a riesgos por ocurrencia de primeras heladas en fechas de siembra más tempranas que los ciclos intermedios. Tandil y Azul son las localidades con mayor FRHM antes de R6 en las últimas dos fechas de

siembra, siendo dicha frecuencia más del doble en ciclos largos que intermedios. Azul no presenta riesgo por heladas tempranas para ciclos intermedios, pero en ciclos largos la FRHM antes de R6 es similar a la de Tandil en las últimas tres fechas de siembra.

Para caracterizar las estrategias de manejo más apropiadas en la zona se discuten los riesgos de daños por heladas durante los dos períodos sen-

sibles (luego de V4 y antes de R6). Las combinaciones evaluadas para los ciclos intermedios (Figuras 2 y 4b) que exhibieron menores riesgos por heladas, tanto tempranas como tardías, fueron con las fechas 15-10 y 25-10. Por su parte, la elección de cultivares de ciclo largo debería evitarse para siembras tardías, especialmente en Azul y Tandil (Figura 4c).

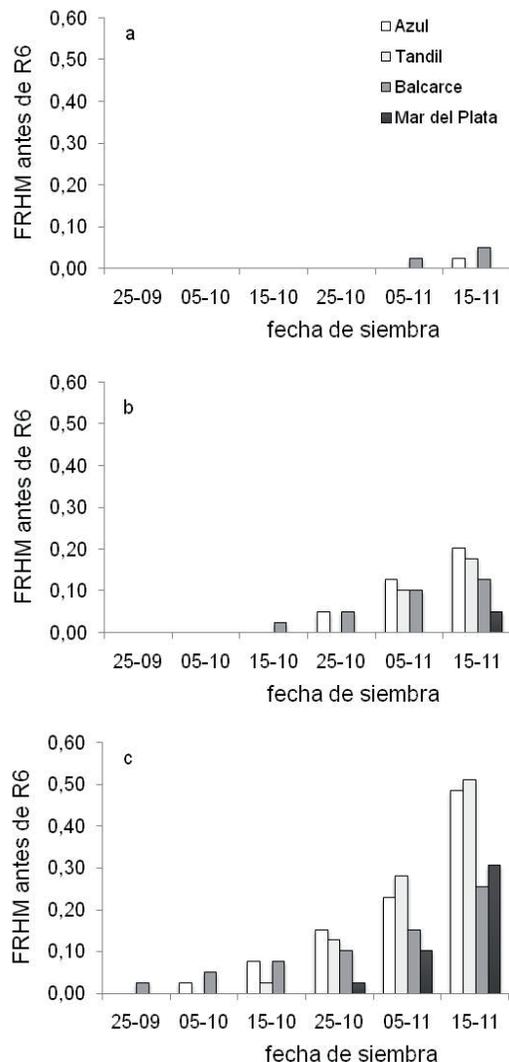


Figura 4. Frecuencia relativa de ocurrencia de años con heladas meteorológicas (serie 1971-2010) en localidades del centro-sudeste bonaerense antes del estado de madurez fisiológica de maíz (FRHM antes de R6), según fecha de siembra y ciclo de madurez. a. Ciclo 1: ciclo corto. b. Ciclo 2: ciclo intermedio. c. Ciclo 3: ciclo largo.

No fueron detectadas tendencias significativas en las series históricas para la fecha de ocurrencia de V4 en cada escenario (fecha de siembra x ciclo

de madurez) evaluado, de acuerdo al test de correlación de Spearman ($p > 0,05$), con excepción de las series en Balcarce, las cuales mostraron una tendencia significativa a adelantar la ocurrencia de este estado, en todos los escenarios. Tampoco fueron detectadas tendencias significativas para la fecha de ocurrencia de R1 en cada escenario evaluado, con excepción de los correspondientes a Balcarce que mostraron una tendencia a adelantar la ocurrencia de este estado en todos los escenarios. Por su parte, la ocurrencia del estado R6 no mostró tendencias significativas en la fecha de ocurrencia en ningún escenario. Con respecto a las fechas medias de ocurrencia de HM, en la localidad de Balcarce se detectó tendencia significativa para la ocurrencia más temprana de las heladas tardías. Por su parte, se observó una tendencia significativa para la ocurrencia más temprana de las heladas de otoño en Azul y Tandil.

La elección de siembras tardías y cultivares de ciclo largo debería ser evitada en todas las localidades, dada la frecuencia de ocurrencia (moderada) de heladas tempranas antes de madurez fisiológica. El empleo de cultivares de ciclo corto podría minimizar estos riesgos en escenarios de siembras tardías. Los cultivares de ciclo intermedio requieren más atención en la elección de la fecha de siembra, ya que exhiben riesgos equiparables en los extremos (tempranos y tardíos) de fecha de siembra.

Ocurrencia de condiciones de estrés por temperaturas elevadas

El número de días con temperatura máxima mayor a 30 °C (NDTM30) registrada durante el período crítico, no varió significativamente entre fechas de siembra (Kruskal Wallis $> 0,05$) en cada una de las combinaciones de localidad x ciclo de madurez. Dentro de la región, se distinguió Azul como la localidad con mayor NDTM30 (Tabla 6) tanto durante el PC como durante la EC (Tabla 7), cualquiera sea el escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez). No se detectaron diferencias significativas entre las tres localidades restantes para NDTM30 durante el PC ni durante la EC, cualquiera sea el escenario agrícola.

Si se describe la ExpTM30PC en comparación con ExpTM30EC, siempre es mayor durante el período crítico que durante la EC, esto es debido a la ubicación relativa del PC en la EC que coincide con el período más cálido de la estación de crecimiento. Los escenarios simulados para Azul generaron condiciones de mayor variabilidad en ExpTM30PC (Figura 5). En algunas campañas agrícolas más cá-

lidas, la ExpTM30PC exhibió una frecuencia mayor a 0,75, especialmente para las combinaciones con fechas de siembra tardías, cualquiera sea el ciclo. Por el contrario, los escenarios para Mar del Plata mostraron menor variabilidad en la ExpTM30PC.

Los escenarios evaluados también resultaron en mayor ExpTM30EC en Azul (Figura 6), debido a un mayor NDTM30 y menor duración de EC que las de las otras localidades (Tabla 3). Se evidencia, entonces, que en esta localidad es muy importante la elección de la fecha de siembra y del ciclo del cultivar, por las condiciones adversas a la que se expone tanto en el PC, como en períodos de menor susceptibilidad.

Es de destacar, que se observaron diferencias significativas entre las fechas de siembra (Kruskal Wallis $<0,05$) en el ExpTM30EC solamente en algunas de las combinaciones localidad x ciclo, pero

nunca con ciclos largos. Así se detectaron diferencias entre fechas de siembra con el ciclo corto para Azul y Mar del Plata y con el ciclo intermedio de madurez para Azul (Figura 6), con una tendencia a aumentar la ExpTM30 y su variabilidad en las siembras tardías.

Entre los ciclos de madurez no se observaron diferencias significativas para ExpTM30EC. Esto indica, que en la región bajo estudio, para una determinada fecha de siembra, no se requiere mayor esfuerzo en la elección del ciclo de madurez, de acuerdo al criterio de grado de exposición a temperaturas elevadas durante la EC.

No fueron detectadas tendencias significativas en las series históricas, de acuerdo al test de correlación de Spearman ($p>0,05$), para el NDTM30 durante el PC, en cualquiera de los escenarios y para todas las localidades.

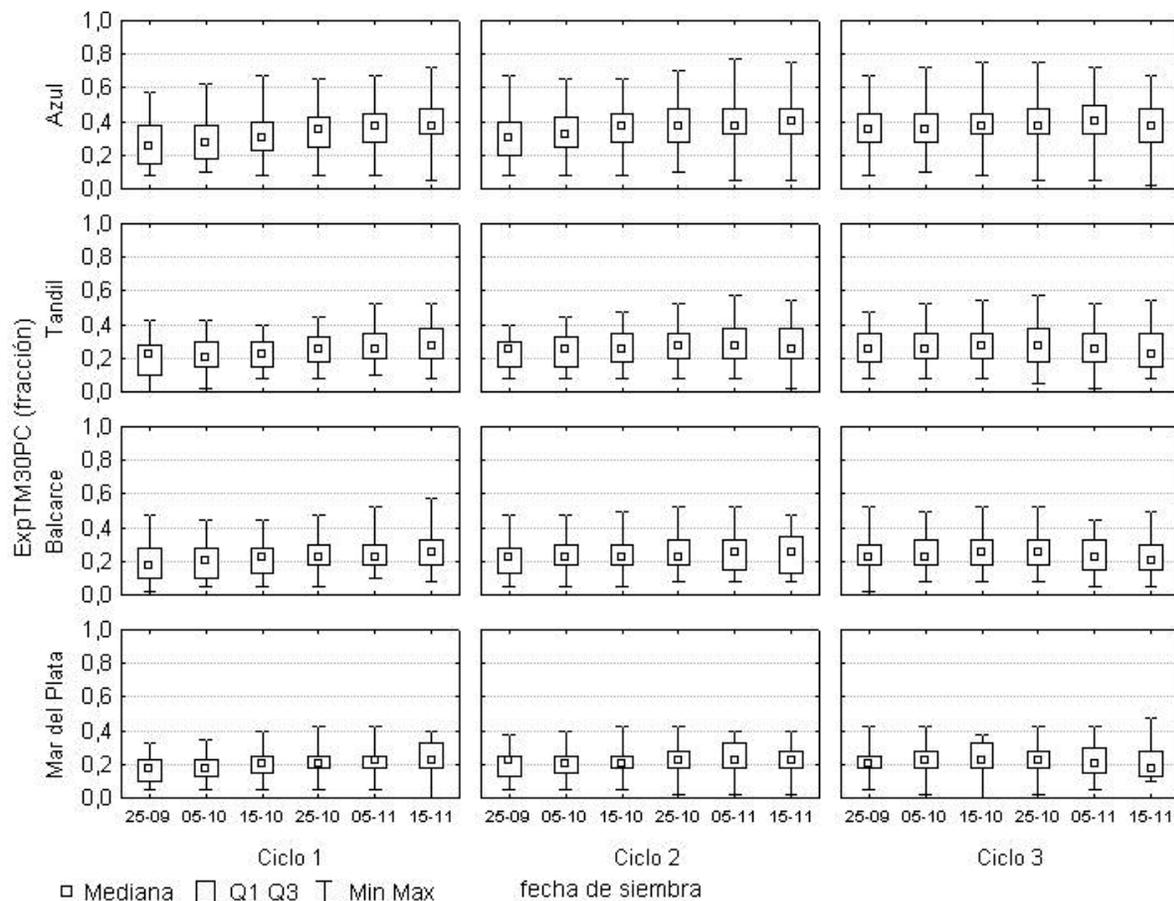


Figura 5. Grado de exposición a temperaturas elevadas durante el período crítico de maíz (ExpTM30PC=NDTM30/40 días) en el centro-sudeste bonaerense bajo escenarios con fecha de siembra y ciclo de madurez. Ciclo 1: ciclo corto, Ciclo 2: ciclo intermedio, Ciclo 3: ciclo largo. El análisis de los contrastes es equivalente al presentado en la Tabla 6, dado que la duración del PC es igual en todos los casos.

Tabla 6. Valores medianos del número de días con temperaturas máximas mayores a 30°C (NDTM30) durante el período crítico de maíz (PC), bajo escenarios con seis fechas de siembra (FS) y tres ciclos de madurez en localidades del centro-sudeste bonaerense.

Localidad	FS	NDTM30 durante el PC					
		Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
Azul	25-09	10	A	12	A	14	A
	05-10	11	A	13	A	14	A
	15-10	12	A	15	A	15	A
	25-10	14	A	15	A	15	A
	05-11	15	A	15	A	16	A
	15-11	15	A	16	A	15	A
Tandil	25-09	9	B	10	B	10	B
	05-10	8	B	10	B	10	B
	15-10	9	B	10	B	11	B
	25-10	10	B	11	B	11	B
	05-11	10	B	11	B	10	B
	15-11	11	B	10	B	9	B
Balcarce	25-9	7	B	9	B	9	B
	05-10	8	B	9	B	9	B
	15-10	9	B	9	B	10	B
	25-10	9	B	9	B	10	B
	05-11	9	B	10	B	9	B
	15-11	10	B	10	B	8	B
Mar del Plata	25-09	7	B	9	B	8	B
	05-10	7	B	8	B	9	B
	15-10	8	B	8	B	9	B
	25-10	8	B	9	B	9	B
	05-11	9	B	9	B	8	B
	15-11	9	B	9	B	7	B

Se indican solamente los contrastes que resultaron significativos (Kruskal Wallis <0,05). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo). Ciclo 1: ciclo corto, Ciclo 2: ciclo intermedio, Ciclo 3: ciclo largo.

Tabla 7. Valores medianos del número de días con temperaturas máximas mayores a 30°C (NDTM30) durante la estación de crecimiento de maíz (EC), bajo escenarios con seis fechas de siembra (FS) y tres ciclos de madurez en localidades del centro-sudeste bonaerense.

Localidad	FS	NDTM30 durante la EC					
		Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
Azul	25-09	28	A	30	A	31	A
	05-10	29	A	31	A	31	A
	15-10	30	A	31	A	32	A
	25-10	31	A	32	A	34	A
	05-11	31	A	34	A	34	A
	15-11	32	A	33	A	34	A
Tandil	25-09	20	B	22	B	22	B
	05-10	21	B	22	B	22	B
	15-10	21	B	22	B	22	B
	25-10	22	B	22	B	22	B
	05-11	22	B	22	B	22	B
	15-11	22	B	22	B	22	B
Balcarce	25-9	20	B	21	B	21	B
	05-10	20	B	21	B	21	B
	15-10	21	B	21	B	21	B
	25-10	21	B	21	B	21	B
	05-11	21	B	21	B	21	B
	15-11	20	B	21	B	21	B
Mar del Plata	25-09	18	B	20	B	21	B
	05-10	19	B	20	B	21	B
	15-10	20	B	21	B	21	B
	25-10	20	B	21	B	21	B
	05-11	20	B	21	B	21	B
	15-11	20	B	21	B	21	B

Se indican solamente los contrastes que resultaron significativos (Kruskal Wallis <0,05). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo). Ciclo 1: ciclo corto, Ciclo 2: ciclo intermedio, Ciclo 3: ciclo largo.

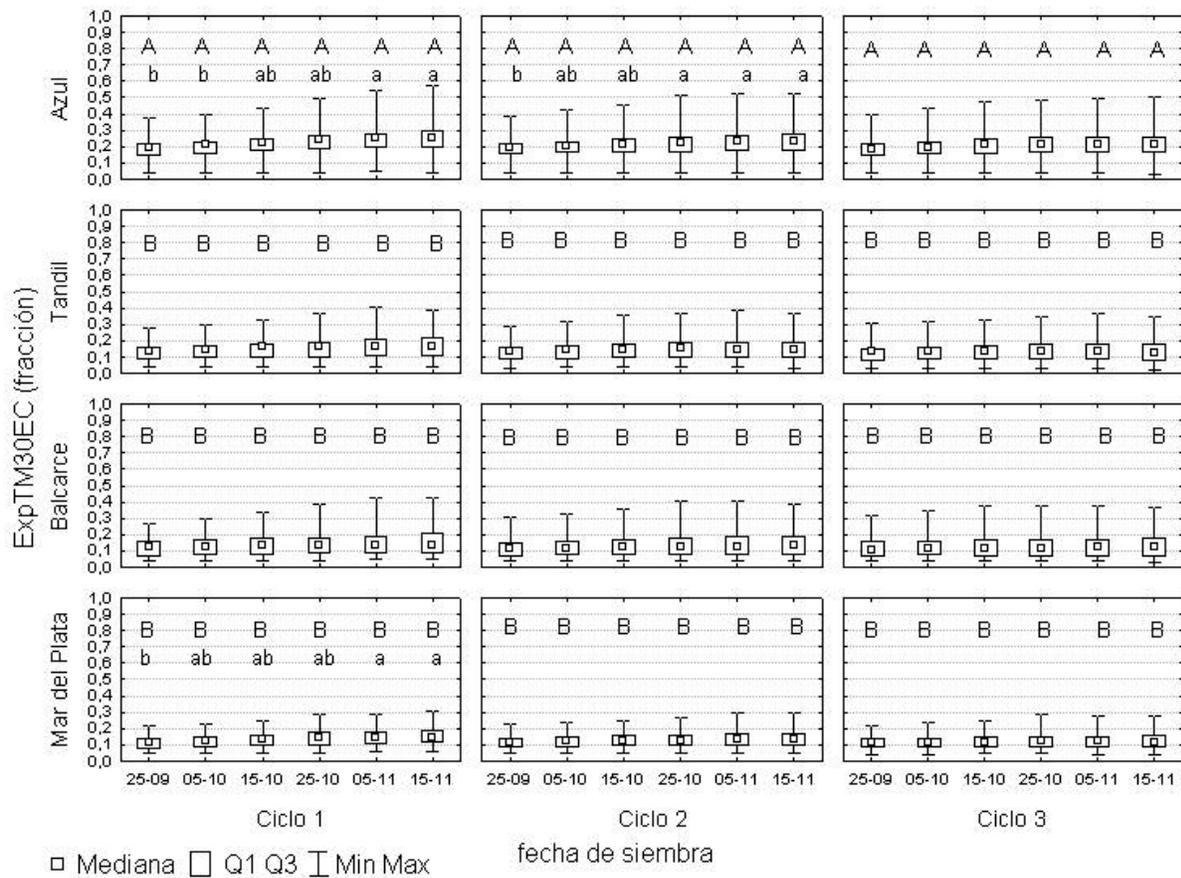


Figura 6. Grado de exposición a temperaturas elevadas durante la estación de crecimiento de maíz ($\text{ExpTM30EC} = \text{NDTM30} / \text{duración de la EC}$) en el centro-sudeste bonaerense bajo escenarios con fecha de siembra y ciclo de madurez. Ciclo 1: ciclo corto, Ciclo 2: ciclo intermedio, Ciclo 3: ciclo largo. Se indican solamente los contrastes que resultaron significativos (Kruskal Wallis $< 0,05$). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo).

CONCLUSIONES

Los escenarios evaluados para la serie histórica 1971-2010 permiten distinguir algunas estrategias de manejo agrícola como más apropiadas de acuerdo al riesgo climático debido a la acción de las temperaturas extremas. En siembras tempranas siempre hay mayor riesgo de daños para el cultivo debido a la ocurrencia de heladas tardías luego del estado de cuatro hojas desarrolladas. A medida que se atrasa la siembra, el riesgo disminuye en la región del sudeste bonaerense. Aunque la duración del subperíodo siembra-cuatro hojas desarrolladas (S-V4) disminuye a medida que se retrasa la fecha de siembra, debido a que se expone al cultivo a temperaturas medias más elevadas, y de esa forma el tiempo térmico requerido para alcanzar dicho estado se logra en menos tiempo y la ocurrencia del estado susceptible coincide con un período con menor frecuencia de heladas que el

correspondiente a siembras tempranas. Los escenarios de siembras tardías y ciclos largos aumentan el riesgo de heladas durante el llenado de granos. En dos localidades de la zona centro-sudeste ubicadas al norte y más alejadas del mar (Azul y Tandil) se observa mayor frecuencia de años con heladas antes de madurez fisiológica (R6). Asimismo, se detecta una tendencia significativa a adelantar las heladas tempranas en ambas localidades. En Azul se registra el mayor número de días con temperaturas elevadas, tanto durante la estación de crecimiento completa como durante el período crítico del cultivo. No se observaron tendencias significativas en las series de tiempo del número de días con condiciones adversas por temperaturas elevadas para los escenarios de fecha de siembra y ciclo de madurez evaluados en las localidades en estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP) que ha provisto la financiación del presente trabajo (AGR387/12). M. P. Panunzio Moscoso ha sido beneficiada con una Beca de Entrenamiento por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). El trabajo es parte del trabajo de graduación de M.P. Panunzio Moscoso.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F.H.; A. Cirilo, S. Uhart y M.E. Otegui, 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. DekalbPress, 292 p.
- Balbuena, H.H., 2006. Caracterización del ambiente térmico y de la respuesta fenológica simulada de un cultivo de maíz ciclo intermedio en el centro sudeste de Buenos Aires. Trabajo de Graduación. Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina. 41 p.
- Barros, V., 2007. Adaptation to climate trends: lessons from the Argentine experience. In: N. Leary, J. Adejuwon, V. Barros, I. Burton, J. Kulkarni and R. Lasco (eds.) *Climate Change and Adaptation*. pp. 296-314.
- Capristo, P.; R.H. Rizzalli and F.H Andrade, 2007. Ecophysiological yield components of maize hybrids with contrasting maturity. *Agronomy Journal* 99: 1111-1118.
- Cárcova, J. and M.E. Otegui, 2001. Ear temperature and pollination timing effects on maize kernel set. *Crop Science* 41: 1809-1815.
- Cheikh N. and R.J. Jones, 1994. Disruption of maize kernel growth and development by heat stress. Role of cytokine/abscisic acid balance. *Plant Physiology* 106: 45p.
- Cicchino, M.; J.I. Rattalino Edreira, M. Uribelarrea and M.E. Otegui, 2010 a. Heat stress in field grown maize: response of physiological determinants of grain yield. *Crop Science* 50: 1438-1448.
- Cicchino, M.; J.I. Rattalino Edreira and M.E. Otegui, 2010 b. Heat stress during late vegetative growth of maize: effects on phenology and assessment of optimum temperature. *Crop Science* 50: 1431-1437.
- Cirilo, A.G., 1994. Desarrollo, crecimiento y partición de materia seca en cultivos de maíz sembrados en diferentes fechas. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 86 p.
- Della Maggiora, A.I.; A.I. Irigoyen, L. Malena y M. Cambarelli, 2012. Deficiencia hídrica para el cultivo de maíz en el centro-sudeste según fecha de siembra. *Actas de XIV Reunión Argentina de Agrometeorología*. 2 p. Malargüe, Argentina. pp. 45-46.
- Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 2009. *Coping with a changing climate: considerations for adaptation and mitigation in agriculture*. Rome. Environment and Natural Resources. 120 p.
- Fernández Long, M.E.; G.V. Muller, A. Beltran-Przekurat and O.E. Scarpati, 2013. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology* 33: 1673-1686.
- Irigoyen, A.I.; R.H. Rizzalli, A.I. Della Maggiora, L.R. Angelocci and L.C. Malena, 2011. Seasonal growing degree-days and predicted phenology of maize at Southern Buenos Aires Province (Argentina). *Anais de V Congresso Brasileiro de Biometeorologia Piracicaba, Brasil*. En CD.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kumudini, S.; F. H. Andrade, K.J. Boote, G.A. Brown, K.A. Dzotsi, G.O. Edmeades, T. Gocken, M. Goodwin, A.L. Halter, G. Hammer, J.L. Hatfield, J. W. Jones, A. Keranian, S.H. Kim, J. Kiniry, J.I. Lizaso, C. Nendel, C.R.L Nielsen, B. Parent, C.O. Stockle, F. Tardieu, P.R. Thomison, D.J. Timlin, T.J. VYN, D. Wallach, H.S Yang and M. Tollenaar, 2014. Predicting maize phenology: intercomparison of functions for developmental response to temperature. *Agronomy Journal* 106: 2087-2097.
- Magrin, G.O.; M.I. Travasso and G. Rodriguez, 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Changes*. 72: 229-249.
- Magrin, G.O.; M.I. Travasso, W.E. Baethgen and R.T. Boca, 2007. Improving Applications in Agriculture of ENSO-based Seasonal Rainfall Forecasts considering Atlantic Ocean Surfaces Temperatures. Sivakumar and Hansen (ed.) *Climate Predictions and Agriculture: Advances and Challenges*, Springer. pp 249-527.
- Nielsen, R.L, 2008. Growing point location in corn at different growth stages. *Purdue Univ., West Lafayette*.
<<https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/growingpointgallery.html>> Consultada el 02/12/2013.
- Rattalino Edreira, J.I.; E. Budakli Carpici, G. Sammarro and M.E. Otegui, 2011. Kernel set of temperate and tropical maize hybrids exposed to heat stress around flowering. *Field Crops Research* 123: 62-73.
- Rattalino Edreira, J.I. and M.E. Otegui, 2012. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: differences in

- crop growth, biomass partitioning and reserves use. *Field Crops Research* 130: 87-98.
- Ritchie, S.W.; J.H. Hanway and G.O. Benson, 1997. How a corn plant develops. Ames: Coop. Extension Service. 21p.
- Ritchie, J. T. and D.S NeSmith, 1991. Temperature and crop development. *Modeling plant and soil systems. Agronomy Monograph*, 31, 5-29.
- Robles, M.; L. Bonelli, A.I. Irigoyen, R.H. Rizzalli y A.I. Della Maggiora, 2012. Riesgo de heladas en siembras tempranas de maíz en Balcarce. XIV Reunión Argentina de Agrometeorología, Malargüe, Argentina. 2p.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Modelos Climáticos. [en línea] <http://www.ambiente.gov.ar/> [consulta 10 setiembre 2015]
- Travasso, M.I.; G. O. Magrin, W.E. Baethgen, J.P. Castañón, G.R. Rodríguez, J.L. Pires, A. Giménez, G. Cunha and M. Fernández, 2007. Maize and Soybean Cultivation in Southeastern South America: Adapting to Climate Change. In: N. Leary, J. Adejuwon, V. Barros, I. Burton, J. Kulkarni and R. Lasco (eds) *Climate Change and Adaptation*, pp. 332-352.