

Riesgos climáticos para el cultivo de maíz en el centro-sudeste bonaerense: B. Deficiencias de agua y rendimientos

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

RESUMEN

Cambios en los patrones climáticos modifican la estación de crecimiento de los cultivos y así los riesgos de su exposición a las condiciones adversas. La evaluación de prácticas de manejo agrícola mediante generación de escenarios de simulación permite formular estrategias de adaptación para minimizar los riesgos y aprovechar los beneficios. Los objetivos del trabajo fueron a) caracterizar las deficiencias de agua en maíz en el centro-sudeste bonaerense para escenarios que combinan ciclos de madurez y fechas de siembra y b) evaluar el impacto de la deficiencia de agua sobre el rendimiento del cultivo. Se seleccionaron escenarios agrícolas con seis fechas de siembra y tres cultivares de diferente madurez. La evaluación agroclimática del régimen hídrico durante la estación de crecimiento y el período crítico se realizó a partir de un modelo de balance de agua ligado a un modelo de desarrollo del cultivo basado en la temperatura del aire (serie 1971-2010). El método fue aplicado para cuatro localidades (Azul, Tandil, Balcarce y Mar del Plata). Se calculó la deficiencia de agua como la diferencia entre la evapotranspiración máxima (ETM) y la evapotranspiración real (ETR) obtenida mediante el balance de agua, a paso diario y siguiendo un modelo calibrado localmente. La evapotranspiración relativa (ETR/ETM) fue calculada para cada escenario y campaña agrícola. El rendimiento máximo o potencial (Y_m) fue estimado a partir del producto entre ETM estacional y la eficiencia de uso del agua (EUA) del cultivo. El rendimiento real (Y_a) se obtuvo a partir de los valores de Y_m , el factor de respuesta al agua (k_y) del cultivo y la evapotranspiración relativa (ETR/ETM). Contrastes estadísticos preestablecidos fueron realizados para comparar las deficiencias de agua acumuladas durante la estación de crecimiento (DAEC) y el período crítico (DAPC), así como los rendimientos potenciales y reales (Y_m y Y_a). La magnitud de las DAEC describe un patrón homogéneo en la región, sin diferencias entre ciclos de madurez y sin diferencias entre fechas de siembra (excepto en Mar del Plata). Se detectan diferencias significativas entre los ciclos corto y largo en las DAPC, aunque esto no ocurre en todas las fechas de siembra y también varía con la localidad. Los Y_a simulados para los ciclos intermedios no se diferencian significativamente de los simulados para los ciclos corto y largo, aunque éstos últimos difieren entre sí.

Palabras clave: fechas de siembra, madurez relativa, balance de agua, evapotranspiración relativa

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: B. water deficiencies and yields. RADA VII: 57-71

SUMMARY

Changes in climate patterns modify the crop growing season and, then, the risks of exposure to adverse conditions. The assessment of agricultural practices by generation of scenarios is useful to identify options of adaptation to minimize risks and improve the benefits. The objectives were a) to describe the water deficits and b) to evaluate the impact of water deficit on crop yield for agricultural scenarios in center-southeastern of Province of Buenos Aires, Argentina. Scenarios with three maturity cultivars were simulated for six planting dates over the region. 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 (Azul, Tandil, Balcarce and Mar del Plata). Water deficit for each scenario was computed as difference between maximum and actual evapotranspiration (ETM-ETR). Soil water balance were computed following an adjusted locally model with daily step. Relative evapotranspiration (ETR/ETM) was computed for each scenario and growing season at each location. Maximum yield was estimated from the product between seasonal ETM and water use efficiency. The response of yield to water supply was quantified through the yield response factor (k_y) which relates relative yield decrease to relative evapotranspiration deficit ($1-ETR/ETM$). Intensity of water deficits during the growing season (DAEC) is homogeneous over the region, without significant differences among locations for each scenario. No significant differences among maturity cultivars or planting dates were detected, except in Mar del Plata. DAEC. Late maturity cultivar yields significantly more than early one, the intermediate cultivar do no differ from each other.

Key words: planting date, relative maturity cultivar, soil water balance, relative evapotranspiration

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.gob.ar

INTRODUCCIÓN

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

En la región sudeste de la provincia de Buenos Aires, la información obtenida desde ensayos a campo ha sugerido que es posible seleccionar opciones de manejo agrícola más productivas, si se adecuan los requerimientos del cultivo a la oferta ambiental (Andrade y Cirilo, 2002; Capristo *et al.*, 2007; Bonelli, 2014). Los ensayos de largo plazo no siempre están diseñados para evaluar la

sensibilidad de los sistemas al ambiente. En ese sentido, la generación de escenarios por simulación permiten formular estrategias de adaptación para minimizar los riesgos y aprovechar los beneficios de acuerdo a las condiciones climáticas de cada región (Maddoni, 2012). Por su parte, las estimaciones de rendimiento y los análisis de la brecha entre condiciones reales y potenciales son útiles para guiar una intensificación sustentable de la agricultura (Grassini *et al.*, 2011; van Ittersum *et al.*, 2013).

Particularmente en la región se han evaluado algunas opciones de manejo agrícola vinculadas con la variabilidad climática de corto y largo plazo (Irigoyen *et al.*, 2011a, b; Della Maggiora *et al.*, 2012; Della Maggiora e Irigoyen, 2012; Irigoyen *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2012). Los resultados sugieren que la deficiencia de agua acumulada durante la estación de crecimiento (DAEC) de

ciclos de madurez intermedia disminuye a medida que se atrasa la fecha de siembra. Esto se debe a una menor duración de la estación de crecimiento al exponer al cultivo a temperaturas crecientes desde siembra a floración. Por su parte la deficiencia acumulada durante el periodo crítico (DAPC) varía entre 40 mm y 60 mm en la zona, sin diferencias entre fechas de siembra (Della Maggiora *et al.*, 2012). Esto indica que la elección de la fecha de siembra no sería una práctica muy sensible para adecuar la oferta hídrica en el período crítico de definición de rendimiento de este ciclo de cultivo. No obstante sería de interés evaluar otros ciclos de madurez, dado que existen evidencias locales de mayor consumo de agua en el período vegetativo en ciclos largos, por su mayor duración, y por esa razón, menor disponibilidad de agua durante el período crítico (Della Maggiora *et al.*, 2001). De acuerdo a estos resultados se considera que las mayores deficiencias de agua acumuladas durante el período crítico (DAPC) pueden ocurrir en los escenarios de siembras tempranas y ciclos largos.

Los objetivos del trabajo fueron a) caracterizar las deficiencias de agua en el centro-sudeste bonaerense para escenarios que combinan ciclos de madurez y fechas de siembra y b) evaluar el impacto de la deficiencia de agua sobre el rendimiento del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escenarios agrícolas y deficiencia hídrica

Los escenarios agrícolas seleccionados combinaron seis fechas de siembra y tres cultivares de diferente madurez en las localidades de Azul, Tandil, Balcarce y Mar del Plata. La evaluación agroclimática del régimen hídrico, para la serie 1971-2010, se realizó a partir de un modelo de balance de agua, asociado a un modelo simple de simulación del desarrollo del cultivo a partir de la temperatura del aire, tal como fue descrito en Panunzio Moscoso *et al.* (2016).

La deficiencia hídrica fue calculada como la diferencia entre la evapotranspiración máxima (ETM) y la evapotranspiración real (ETR) que fue obtenida mediante el balance de agua en el suelo, calculado a paso diario y siguiendo un modelo calibrado localmente (Della Maggiora *et al.*, 2002). Las variables de entrada del modelo fueron: precipitación (P), evapotranspiración de referencia (ET₀), coeficiente de cultivo (K_c), profundidad de suelo, límites máximo y mínimo de almacenaje de agua en el suelo y contenido de agua inicial.

La evapotranspiración real (ETR) fue calculada a partir de la corrección de ET₀ por el coeficiente de cultivo (K_c) para obtener la evapotranspiración máxima (ETM), cuando el agua del suelo estaba fácilmente disponible. Si el suelo se estaba secando por debajo de un umbral crítico (UC; ajustado para las condiciones locales de clima y suelo como 0,80 del agua disponible), fue considerada una disminución lineal de la evapotranspiración relativa (ETR/ETM) en función de la fracción de agua disponible.

El coeficiente K_c en cada estación de crecimiento de la serie histórica se calculó en función del tiempo térmico acumulado (Della Maggiora *et al.*, 2003) para el período comprendido entre 0,20 y 1,00 de la fracción de tiempo térmico acumulado en el total de la estación de crecimiento (ocurrencia de R₆). En el período previo, desde 90 días antes de la siembra y hasta el 0,20 de la fracción de tiempo térmico acumulado, el valor de K_c se estimó siguiendo las recomendaciones de Allen *et al.* (1998). Las variaciones en la evolución del K_c de acuerdo a los escenarios agrícolas han sido discutidas en Panunzio Moscoso *et al.* (2014).

Se consideraron valores de 3,7 y 2,0 mm cm⁻¹ como límites máximo y mínimo de almacenaje de agua en el suelo, respectivamente y una profundidad de suelo testigo de 1 m. Se inició el balance de cada escenario 90 días antes de la primera fecha de siembra, con un valor inicial igual al límite máximo de almacenaje, criterio seguido de acuerdo a los resultados de los balances de agua seriados calculados previamente (Irigoyen *et al.*, 2004).

El test de Shapiro-Wilks ($p > 0,05$) fue empleado para evaluar la normalidad de las series de componentes del balance de agua. Se calcularon los estadísticos descriptivos para cada uno de los componentes del balance de agua en cada escenario agrícola (fecha de siembra x ciclo) por localidad.

El test no paramétrico Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) fue aplicado, por suma de rangos, para evaluar la presencia de diferencias de deficiencias de agua acumuladas durante el periodo crítico (DAPC) y de deficiencias de agua acumuladas durante la estación de crecimiento (DAEC) según tres tipos de contrastes: a) entre las localidades para cada uno de los escenarios (fecha de siembra x ciclo de madurez), b) entre fechas de siembra para cada una de las combinaciones de ciclo x localidad y c) entre ciclos para cada una de las combinaciones de fechas de siembra x localidad. El test de Tukey fue aplicado cuando se detectaron diferencias significativas en la distribución de frecuencias

entre grupos.

El test Kolmogorov-Smirnov fue utilizado para evaluar la igualdad de distribución entre la evapotranspiración relativa del período crítico (ET relativa PC) y la evapotranspiración relativa de la estación de crecimiento (ET relativa EC) para cada escenario.

El análisis de correlación de Spearman ($p < 0,05$) fue empleado para evaluar la presencia de tendencia en cada uno de los componentes del balance de agua: precipitación (P), evapotranspiración de referencia (ET₀), evapotranspiración máxima (ETM), evapotranspiración real (ETR), excesos y deficiencias, para la estación completa de crecimiento del cultivo (EC) y para el período crítico (PC).

Con la finalidad de integrar la caracterización de la amenaza y de la vulnerabilidad para períodos específicos del desarrollo se sintetizó la información por localidad. El grado de exposición de un escenario agrícola a condiciones de deficiencia de agua se presentó como la frecuencia de ocurrencia de láminas mayores a un determinado valor, con intervalos de 50 mm para la EC y con intervalos de 20 mm para el PC. Se establecieron cuatro categorías 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).

Estimación de pérdidas de rendimiento

Los efectos de deficiencia de agua sobre el rendimiento del cultivo se calcularon mediante el factor respuesta (k_y) de Doorenbos y Kassam (1979). El rendimiento máximo o potencial (Y_m) fue estimado a partir del producto entre ETM estacional y la eficiencia de uso del agua (EUA) del cultivo. Se asumió un valor de EUA de $22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ de acuerdo a la relación entre rendimientos potenciales de los cultivares actuales y la ETM estacional (Bonelli, 2014). El rendimiento real (Y_a) se obtuvo a partir de los valores de Y_m , el factor k_y del cultivo y la evapotranspiración relativa (ET relativa = ETR/ETM) en la estación de crecimiento para cada escenario empleando la relación: $1 - (Y_a/Y_m) = k_y \cdot (1 - (\text{ETR}/\text{ETM}))$. El criterio de aplicar en este trabajo un único factor de respuesta sobre la estación completa (EC) estuvo basado en el supuesto que la ET relativa durante el PC no es diferente de ET relativa durante la EC en cualquier escenario. Ese supuesto estuvo fundamentado en la información obtenida cuando se simuló el balance de agua para Balcarce bajo escenarios con tres fechas de siembra y un ciclo

de madurez intermedia (Irigoyen *et al.*, 2011). Dado que no se dispone de información local que permita diferenciar valores de k_y según ciclo de madurez, se aplicó un mismo valor ($K_y = 1,25$, Doorenbos y Kassam, 1979, Steduto *et al.*, 2012) para los tres ciclos estudiados.

Se determinó la brecha de rendimiento ($Y_m - Y_a$), que en este trabajo se refiere a la pérdida de rendimiento respecto al potencial debida exclusivamente a deficiencias de agua, para cada escenario agrícola en cada localidad y campaña agrícola.

La variabilidad interanual (serie 1971-2010) de los rendimientos estimados (Y_m y Y_a) y de la brecha ($Y_m - Y_a$) fue caracterizada para cada localidad mediante estadísticos básicos de posición (valor mínimo, valor máximo, mediana y cuartiles) para cada escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez).

El test no paramétrico Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) fue aplicado, por suma de rangos, para evaluar la presencia de diferencias de rendimiento potencial (Y_m), de rendimiento real (Y_a) y de brecha ($Y_m - Y_a$) según tres tipos de contrastes: a) entre las localidades para cada uno de los escenarios (fecha de siembra x ciclo de madurez), b) entre fechas de siembra para cada una de las combinaciones de ciclo x localidad y c) entre ciclos para cada una de las combinaciones de fechas de siembra x localidad. El test de Tukey fue aplicado cuando se detectaron diferencias significativas en la distribución de frecuencias entre grupos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Deficiencias de agua

Se analizaron las deficiencias de agua acumuladas durante la estación de crecimiento (DAEC) y durante el período crítico (DAPC) para los escenarios (fecha de siembra x ciclo) generados en cada localidad.

En Azul, Tandil y Balcarce no hubo diferencias significativas en DAEC (Kruskal-Wallis $p > 0,05$) entre fechas de siembra para ninguno de los ciclos evaluados, por lo tanto en esas localidades se puede seleccionar cualquiera de los seis escenarios si se emplea como criterio el riesgo de deficiencias en la estación completa (Figura 1). Ya se había evaluado esta adversidad en escenarios con ciclos intermedios y tres fechas de siembra para Balcarce (Irigoyen *et al.*, 2011a, 2012), y este trabajo amplía el espectro de escenarios estudiados brindando información útil para definir las estrategias de manejo más adecuadas.

Se puede describir un patrón homogéneo de la adversidad en la región, a pesar de existir diferencias en algunos componentes del balance de agua (ETM o ETR, datos no mostrados) en algunos escenarios. En la localidad de Mar del Plata hubo diferencias significativas en las DAEC entre la fecha de siembra más temprana (25-09) y las más tardía (15-11) para los tres ciclos, resultando las fechas intermedias sin diferencias entre sí.

Se encontraron diferencias significativas entre las localidades de Balcarce y Tandil en las DAEC para las fechas de siembra comprendidas entre el 25-09 y el 25-10, cualquiera sea el cultivar. En base a las DAEC, con siembras a partir del 05-11 las deficiencias de agua son homogéneas en la región. No se encontraron diferencias significativas entre los ciclos de madurez en ninguna de las combinaciones fecha de siembra x localidad.

No se registraron tendencias significativas en las series históricas de DAEC, mediante el análisis de correlación de Spearman ($p > 0,05$), en ninguno de los escenarios en cada localidad.

En la Figura 2 se presentan la variabilidad interanual de las DAPC de acuerdo a cada escenario agrícola y localidad. No se encontraron diferencias significativas para las comparaciones de DAPC entre fechas de siembra, cualquiera sea la combinación localidad x ciclo (Kruskal-Wallis $p > 0,05$). Dentro de la zona, se encontraron diferencias significativas de DAPC entre las localidades en algunas de las fechas de siembra evaluadas (25-09 al 25-10). En Balcarce se registraron las DAPC menos severas.

Por su parte, al contrastar ciclos de madurez, se observa un patrón diferente dentro de la región. Por una parte, las diferencias de DAPC entre ciclos

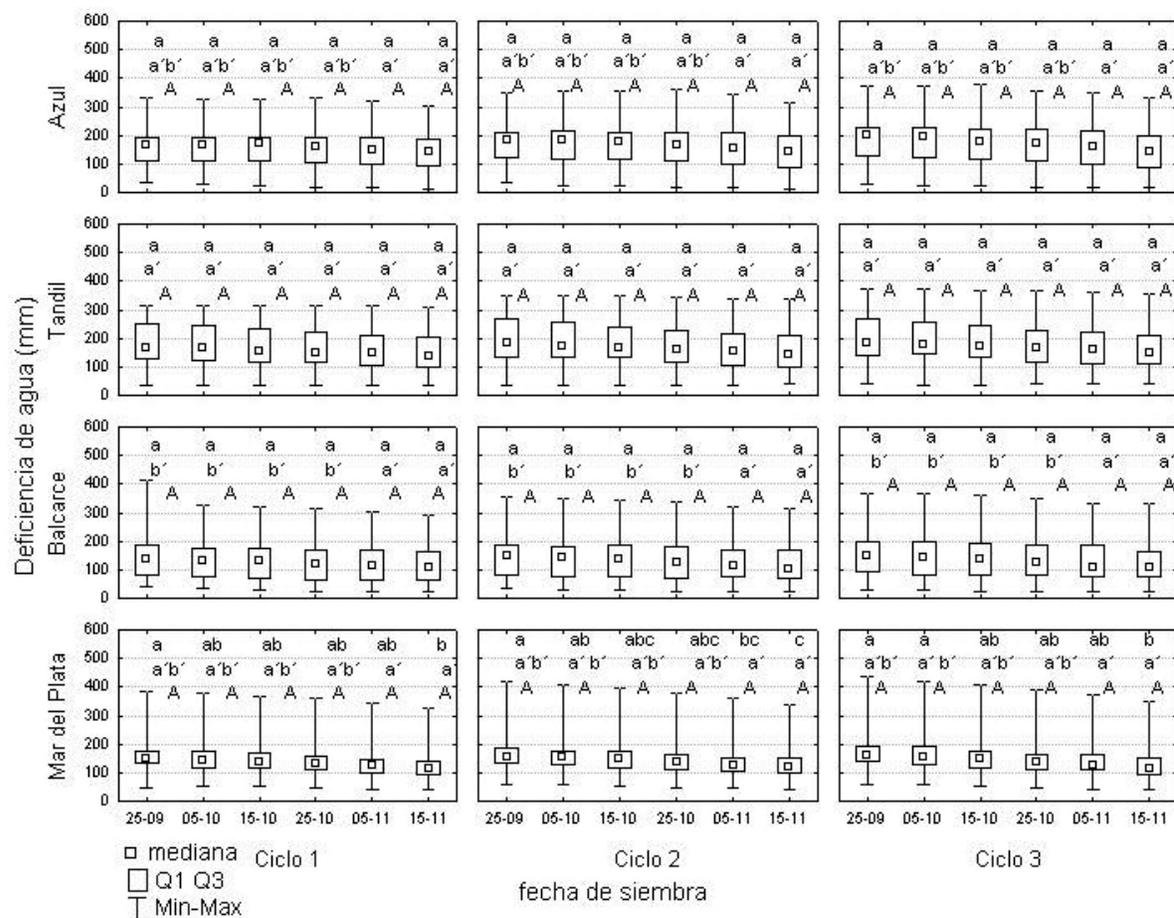


Figura 1. Variabilidad interanual (serie 1971-2010) de la deficiencia de agua acumulada durante la estación de crecimiento (DAEC) del cultivo de maíz bajo escenarios con seis fechas de siembra y tres ciclos de madurez en cuatro localidades del centro-sudeste bonaerense. Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de DAEC entre fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras minúsculas con apóstrofe diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de DAEC entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de DAEC entre ciclos para cada combinación de localidad y fecha de siembra.

largos y cortos se manifestaron más claramente en Mar del Plata (5 escenarios) y Azul (3 escenarios), aunque la magnitud de las diferencias entre ciclos varió en cada localidad (i.e., en la primera fecha de siembra, la DAPC mediana del ciclo largo supera a la DAPC del ciclo corto en 33 y 22 mm en Azul y Mar del Plata, respectivamente). En Tandil, en ninguna de las fechas de siembra evaluadas se encontraron diferencias significativas de DAPC entre los ciclos de madurez. Mientras que en Balcarce solamente fueron significativas las diferencias de DAPC entre ciclos para los escenarios con la fecha más temprana.

En las Tablas 1 a 4 se muestra información sobre la frecuencia de ocurrencia de DAEC y DAPC organizada para diferentes niveles de intensidad de la adversidad y permiten evaluar comparativamente la magnitud de los riesgos para el cultivo. Las mayores diferencias entre fechas de siembra y entre ciclos en la frecuencia

de ocurrencia de deficiencias durante la EC se observó en las categorías de riesgo moderado que se corresponden con los niveles intermedios de deficiencia (i.e. 150 mm o más en EC; diferencias en la frecuencia de ocurrencia de 0,2 a 0,3 entre fechas de siembra extremas para ciclos largos). En general se observó dentro de esta categoría de riesgo moderado una reducción en la frecuencia de ocurrencia de DAEC con el atraso en la fecha de siembra y un incremento con el aumento de la duración del ciclo. Por otra parte, las menores o las mayores intensidades de la adversidad que se corresponden a las categorías de riesgo que se acercan a los extremos de la distribución (rangos de frecuencia relativa acumulada 0,00-0,25 y 0,76-1,00) no varían o varían poco con el ciclo o la fecha de siembra. Con respecto a la frecuencia de ocurrencia de deficiencias en el período crítico, el patrón es bastante similar a la descrita para la DAEC. Las mayores diferencias entre fechas de

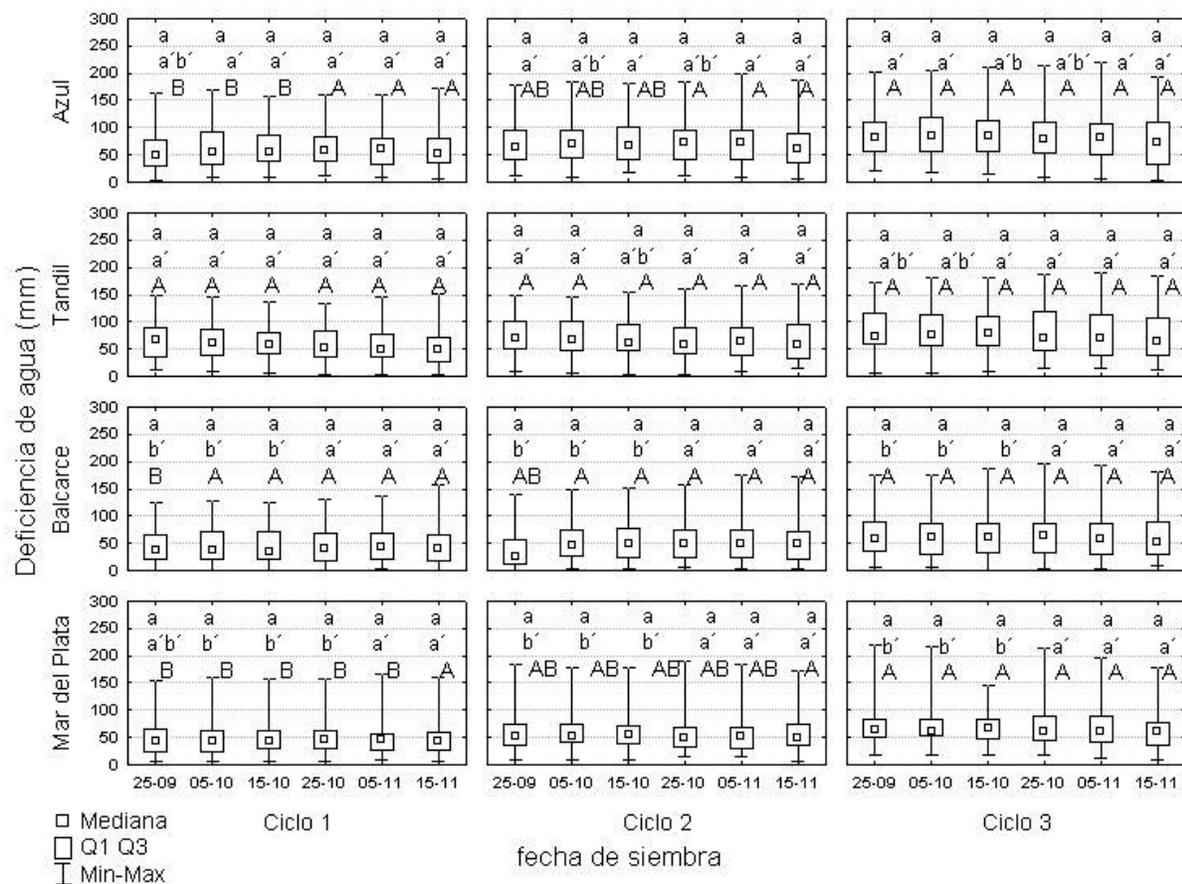


Figura 2. Variabilidad interanual (serie 1971-2010) de la deficiencia de agua acumulada durante el período crítico (DAPC) del cultivo de maíz bajo escenarios con seis fechas de siembra y tres ciclos de madurez en cuatro localidades del centro-sudeste bonaerense. Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de DAPC entre fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras minúsculas con apóstrofe diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de DAPC entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de DAPC entre ciclos para cada combinación de localidad y fecha de siembra.

siembra y ciclos se dan en categorías de riesgo moderado, correspondientes a una intensidad de deficiencia intermedia (i.e. 60 mm en el PC con diferencias en la frecuencia de ocurrencia de 0,02 a 0,2 entre fechas de siembra extremas). La frecuencia relativa de DAPC, en general

disminuyó con el atrasa en la fecha de siembra y aumentó desde ciclos cortos a largos, con algunas excepciones. En particular, Balcarce, no respondió estrictamente con este patrón sobre todo para los ciclos 1 y 2.

Tabla 1. Frecuencia de ocurrencia de deficiencias de agua durante la estación de crecimiento (EC) y el periodo crítico (PC) del cultivo de maíz en la localidad de Azul (serie 1971-2010).

Período	Ciclo	Deficiencia (mm)	Frecuencia relativa acumulada					
			Fecha de siembra					
			25-09	05-10	15-10	25-10	05-11	15-11
EC	1	mayor a 50	0,97	0,95	0,95	0,92	0,92	0,90
		mayor a 100	0,82	0,82	0,82	0,79	0,74	0,72
		mayor a 150	0,64	0,62	0,62	0,56	0,49	0,46
		mayor a 200	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,15
		mayor a 250	0,13	0,13	0,13	0,15	0,10	0,10
	2	mayor a 50	0,97	0,95	0,95	0,92	0,92	0,90
		mayor a 100	0,85	0,85	0,82	0,79	0,79	0,74
		mayor a 150	0,64	0,67	0,64	0,62	0,56	0,41
		mayor a 200	0,36	0,31	0,31	0,33	0,33	0,23
		mayor a 250	0,15	0,18	0,18	0,13	0,10	0,08
	3	mayor a 50	0,97	0,97	0,97	0,95	0,92	0,87
		mayor a 100	0,85	0,85	0,85	0,82	0,77	0,72
		mayor a 150	0,69	0,69	0,67	0,67	0,59	0,44
		mayor a 200	0,51	0,38	0,33	0,33	0,33	0,23
		mayor a 250	0,18	0,18	0,18	0,15	0,13	0,10
PC	1	mayor a 20	0,85	0,90	0,87	0,92	0,92	0,87
		mayor a 40	0,62	0,69	0,74	0,72	0,64	0,64
		mayor a 60	0,33	0,44	0,44	0,49	0,51	0,46
		mayor a 80	0,21	0,28	0,28	0,28	0,23	0,28
		mayor a 100	0,21	0,18	0,13	0,13	0,10	0,10
		mayor a 120	0,21	0,18	0,13	0,13	0,10	0,10
	2	mayor a 20	0,92	0,95	0,95	0,92	0,92	0,90
		mayor a 40	0,77	0,82	0,82	0,79	0,79	0,69
		mayor a 60	0,62	0,64	0,62	0,59	0,59	0,54
		mayor a 80	0,36	0,41	0,44	0,46	0,36	0,31
		mayor a 100	0,21	0,23	0,26	0,21	0,21	0,18
		mayor a 120	0,21	0,23	0,26	0,21	0,21	0,18
	3	mayor a 20	1,00	0,97	0,95	0,92	0,95	0,95
		mayor a 40	0,85	0,87	0,87	0,82	0,82	0,74
		mayor a 60	0,69	0,69	0,72	0,69	0,62	0,59
		mayor a 80	0,56	0,56	0,51	0,49	0,51	0,44
		mayor a 100	0,36	0,41	0,38	0,31	0,31	0,31
		mayor a 120	0,36	0,41	0,38	0,31	0,31	0,31

Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo.

Las áreas sombreadas distinguen cuatro categorías de riesgo de acuerdo a frecuencia de ocurrencia. Bajo: 0,00 a 0,25, bajo a moderado: 0,26 a 0,50, moderado a alto: 0,51 a 0,75, alto: 0,76 a 1,00.

Tabla 2. Frecuencia de ocurrencia de deficiencias de agua durante la estación de crecimiento (EC) y el periodo crítico (PC) del cultivo de maíz en la localidad de Tandil (serie 1971-2010).

Período	Ciclo	Deficiencia (mm)	Frecuencia relativa acumulada					
			Fecha de siembra					
			25-09	05-10	15-10	25-10	05-11	15-11
EC	1	mayor a 50	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
		mayor a 100	0,92	0,92	0,90	0,85	0,82	0,74
		mayor a 150	0,56	0,56	0,56	0,54	0,46	0,41
		mayor a 200	0,36	0,33	0,36	0,36	0,31	0,26
		mayor a 250	0,26	0,23	0,18	0,18	0,10	0,08
	2	mayor a 50	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
		mayor a 100	0,92	0,92	0,90	0,87	0,85	0,79
		mayor a 150	0,64	0,64	0,67	0,56	0,56	0,46
		mayor a 200	0,38	0,38	0,38	0,33	0,31	0,26
		mayor a 250	0,28	0,28	0,18	0,15	0,10	0,10
	3	mayor a 50	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
		mayor a 100	0,92	0,92	0,90	0,90	0,85	0,82
		mayor a 150	0,74	0,74	0,74	0,64	0,59	0,49
		mayor a 200	0,44	0,38	0,41	0,36	0,28	0,26
		mayor a 250	0,28	0,28	0,21	0,18	0,13	0,13
PC	1	mayor a 20	0,90	0,92	0,92	0,95	0,90	0,87
		mayor a 40	0,69	0,74	0,77	0,72	0,67	0,62
		mayor a 60	0,56	0,54	0,49	0,46	0,44	0,44
		mayor a 80	0,31	0,28	0,28	0,28	0,20	0,20
		mayor a 100	0,18	0,20	0,17	0,17	0,15	0,15
		mayor a 120	0,18	0,20	0,17	0,17	0,15	0,15
	2	mayor a 20	0,95	0,95	0,95	0,95	0,92	0,90
		mayor a 40	0,85	0,90	0,85	0,82	0,72	0,67
		mayor a 60	0,69	0,59	0,54	0,49	0,51	0,49
		mayor a 80	0,43	0,46	0,43	0,43	0,35	0,33
		mayor a 100	0,25	0,28	0,20	0,20	0,20	0,20
		mayor a 120	0,25	0,28	0,20	0,20	0,20	0,20
	3	mayor a 20	0,95	0,95	0,95	0,97	0,97	0,92
		mayor a 40	0,92	0,90	0,85	0,82	0,74	0,74
		mayor a 60	0,74	0,72	0,67	0,62	0,54	0,59
		mayor a 80	0,43	0,44	0,48	0,48	0,43	0,41
		mayor a 100	0,38	0,43	0,35	0,35	0,30	0,28
		mayor a 120	0,38	0,43	0,35	0,35	0,30	0,28

Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo.

Las áreas sombreadas distinguen cuatro categorías de riesgo de acuerdo a frecuencia de ocurrencia. Bajo: 0,00 a 0,25, bajo a moderado: 0,26 a 0,50, moderado a alto: 0,51 a 0,75, alto: 0,76 a 1,00.

Tabla 3. Frecuencia de ocurrencia de deficiencias de agua durante la estación de crecimiento (EC) y el periodo crítico (PC) del cultivo de maíz en la localidad de Balcarce (serie 1971-2010).

Período	Ciclo	Deficiencia (mm)	Frecuencia relativa acumulada					
			Fecha de siembra					
			25-09	05-10	15-10	25-10	05-11	15-11
EC	1	mayor a 50	0,92	0,90	0,90	0,90	0,87	0,87
		mayor a 100	0,69	0,67	0,67	0,69	0,62	0,53
		mayor a 150	0,41	0,36	0,33	0,28	0,31	0,28
		mayor a 200	0,15	0,10	0,10	0,13	0,10	0,10
		mayor a 250	0,13	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
	2	mayor a 50	0,97	0,95	0,95	0,92	0,90	0,92
		mayor a 100	0,69	0,69	0,67	0,69	0,59	0,51
		mayor a 150	0,46	0,41	0,31	0,36	0,36	0,33
		mayor a 200	0,18	0,15	0,13	0,15	0,13	0,10
		mayor a 250	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
	3	mayor a 50	0,97	0,97	0,97	0,95	0,92	0,92
		mayor a 100	0,72	0,69	0,69	0,64	0,62	0,56
		mayor a 150	0,51	0,44	0,36	0,36	0,36	0,36
		mayor a 200	0,21	0,21	0,18	0,18	0,15	0,15
		mayor a 250	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
PC	1	mayor a 20	0,79	0,79	0,77	0,72	0,77	0,74
		mayor a 40	0,46	0,44	0,38	0,46	0,51	0,51
		mayor a 60	0,26	0,28	0,28	0,26	0,26	0,33
		mayor a 80	0,21	0,18	0,18	0,10	0,18	0,13
		mayor a 100	0,10	0,10	0,05	0,05	0,08	0,08
		mayor a 120	0,10	0,10	0,05	0,05	0,07	0,07
	2	mayor a 20	0,69	0,90	0,79	0,79	0,77	0,79
		mayor a 40	0,38	0,56	0,62	0,64	0,62	0,62
		mayor a 60	0,21	0,36	0,33	0,41	0,41	0,36
		mayor a 80	0,10	0,23	0,23	0,21	0,18	0,21
		mayor a 100	0,05	0,15	0,13	0,13	0,10	0,10
		mayor a 120	0,05	0,15	0,13	0,13	0,10	0,10
	3	mayor a 20	0,87	0,85	0,85	0,85	0,82	0,79
		mayor a 40	0,72	0,72	0,72	0,72	0,69	0,62
		mayor a 60	0,49	0,51	0,51	0,54	0,46	0,46
mayor a 80		0,36	0,36	0,41	0,33	0,28	0,26	
mayor a 100		0,23	0,21	0,18	0,18	0,15	0,13	
mayor a 120		0,23	0,21	0,18	0,18	0,15	0,13	

Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo.

Las áreas sombreadas distinguen cuatro categorías de riesgo de acuerdo a frecuencia de ocurrencia. Bajo: 0,00 a 0,25, bajo a moderado: 0,26 a 0,50, moderado a alto: 0,51 a 0,75, alto: 0,76 a 1,00.

Tabla 4. Frecuencia de ocurrencia de deficiencias de agua durante la estación de crecimiento (EC) y el periodo crítico (PC) del cultivo de maíz en la localidad de Mar del Plata (serie 1971-2010).

Período	Ciclo	Deficiencia (mm)	Frecuencia relativa acumulada					
			Fecha de siembra					
			25-09	05-10	15-10	25-10	05-11	15-11
EC	1	mayor a 50	0,97	1,00	1,00	0,97	0,95	0,95
		mayor a 100	0,85	0,87	0,90	0,82	0,74	0,69
		mayor a 150	0,46	0,41	0,36	0,26	0,23	0,21
		mayor a 200	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10
		mayor a 250	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08
	2	mayor a 50	1,00	1,00	1,00	0,97	0,95	0,95
		mayor a 100	0,87	0,87	0,87	0,85	0,79	0,72
		mayor a 150	0,59	0,54	0,44	0,33	0,26	0,28
		mayor a 200	0,18	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
		mayor a 250	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08
	3	mayor a 50	1,00	1,00	1,00	0,97	0,95	0,92
		mayor a 100	0,90	0,90	0,90	0,87	0,79	0,64
		mayor a 150	0,62	0,59	0,49	0,41	0,31	0,28
		mayor a 200	0,21	0,18	0,13	0,13	0,13	0,13
		mayor a 250	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
PC	1	mayor a 20	0,82	0,85	0,87	0,85	0,79	0,85
		mayor a 40	0,54	0,51	0,56	0,56	0,56	0,54
		mayor a 60	0,36	0,31	0,28	0,28	0,23	0,26
		mayor a 80	0,18	0,18	0,18	0,15	0,10	0,10
		mayor a 100	0,10	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05
		mayor a 120	0,10	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05
	2	mayor a 20	0,92	0,92	0,92	0,87	0,85	0,85
		mayor a 40	0,72	0,77	0,72	0,72	0,67	0,64
		mayor a 60	0,41	0,39	0,36	0,33	0,39	0,39
		mayor a 80	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
		mayor a 100	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,10
		mayor a 120	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,10
	3	mayor a 20	0,92	0,97	0,97	0,95	0,92	0,92
		mayor a 40	0,87	0,82	0,85	0,79	0,79	0,69
		mayor a 60	0,62	0,59	0,51	0,51	0,51	0,51
		mayor a 80	0,28	0,26	0,28	0,36	0,31	0,23
		mayor a 100	0,15	0,21	0,18	0,15	0,10	0,10
		mayor a 120	0,15	0,21	0,18	0,15	0,10	0,10

Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo.

Las áreas sombreadas distinguen cuatro categorías de riesgo de acuerdo a frecuencia de ocurrencia. Bajo: 0,00 a 0,25, bajo a moderado: 0,26 a 0,50, moderado a alto: 0,51 a 0,75, alto: 0,76 a 1,00.

En la literatura local, las siembras tempranas se asociaron a una mayor disponibilidad de agua en el suelo al inicio del período crítico (Andrade *et al.*, 1996). Por esa razón, en los planteos de manejo propuestos se ha insistido en adecuar el desarrollo de modo que el período crítico coincida con menor demanda atmosférica y si es posible con un período con mayores precipitaciones. Cabe destacar que la precipitación acumulada durante el PC no presentó diferencias significativas (Kruskal Wallis, $p > 0,05$) en ninguna de las combinaciones analizadas, ni entre localidades, ni entre ciclos, ni entre fechas de siembra (datos no mostrados), por lo que las variaciones en la condición hídrica para cada escenario depende del ambiente previo al PC y de la evapotranspiración máxima (ETM).

No se encontraron diferencias significativas (Kruskal Wallis, $p > 0,05$) en la relación ETR/ETM entre localidades para cada escenario, tampoco entre ciclos para cada combinación localidad y ciclo.

Estimación de pérdidas de rendimiento por deficiencias de agua

La decisión de manejo agrícola deberá contemplar los riesgos integrando probabilidad, intensidad e impacto de las amenazas en la producción del cultivo. En ese sentido, el análisis probabilístico de los rendimientos potenciales (Y_m) y reales (Y_a , con efecto de la deficiencia de agua) permite estimar las pérdidas posibles de rendimiento debido a esta adversidad. En la Figura 3 se presentan los Y_m estimados según la relación evapotranspiración máxima (ETM) x eficiencia en el uso de agua (EUA) para todos los escenarios (fecha de siembra x ciclo) en cada localidad analizada.

Se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis $p < 0,05$) en Y_m en cada una de las las comparaciones analizadas, tanto entre fechas de siembra para las combinaciones de localidad x ciclo, como entre ciclos para fechas de siembra x localidad y entre localidades para los escenarios fecha de siembra x ciclo. Esto implica que en la zona, se pueden distinguir una o más estrategias como las más favorables para alcanzar mayores rendimientos.

Por un lado, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los ciclos de madurez en Y_m para cada una de las combinaciones de fecha de siembra y localidad, con la secuencia ciclo 3 > ciclo 2 > ciclo 1 en la mayoría de los casos, fueron excepción las combinaciones de las tres últimas fechas en MdP, de una fecha de siembra en Azul

y Balcarce, combinaciones con la secuencia ciclo 3=ciclo 2 > ciclo 1 para Y_m . Los Y_m estimados para Tandil y Azul no se diferenciaron entre sí y fueron mayores que los estimados para Balcarce y Mar del Plata (que tampoco se diferenciaron entre sí) bajo cualquier escenario, excepto para la siembra del 15-11 de ciclo largo. En este escenario, a la generalización anterior, debe adicionarse que el rendimiento potencial en Balcarce no fue diferente del estimado para Tandil.

En cada una las localidades, al comparar fechas de siembra, solamente se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los escenarios extremos de siembras tempranas y tardías. Los escenarios que mostraron los mayores Y_m son los que combinan fechas de siembra temprana con cultivares de ciclo largo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Bonelli (2014), en Balcarce, con simulación en base a la eficiencia de uso de radiación y con fechas de siembra que varían desde octubre a inicios de enero. Según este autor, la siembra de los ciclos cortos en siembras aún más tardías que las evaluadas en este trabajo permite aumentar rendimientos potenciales, reducir el riesgo de heladas durante la etapa reproductiva y anticipar la madurez de modo de exponer a condiciones más favorables para el secado de granos.

En la Figura 4 se presentan los rendimientos reales (Y_a) simulados a partir de los componentes del balance de agua (ETR y ETM) y del factor respuesta k_y para cada combinación de localidad, ciclo y fecha de siembra.

No se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis $p > 0,05$) entre fechas de siembra para cada una de las combinaciones ciclo x localidad. Aunque con un número más reducido de fechas de siembra y un cultivar de ciclo intermedio, tampoco, en Balcarce, se habían encontrado diferencias significativas entre fechas de siembra, cuando la variabilidad interanual fue discriminada de acuerdo a la fase ENSO (Irigoyen *et al.*, 2011). Tampoco se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis $p > 0,05$) entre las localidades en Y_a para cada uno de los escenarios (fecha de siembra x ciclo). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas de Y_a entre los ciclos de madurez para las combinaciones de fecha de siembra y localidad. En todas las localidades y fechas de siembra los cultivares de ciclo largo presentaron Y_a significativamente mayores que los de ciclo corto, mientras que los Y_a de ciclo intermedio no se diferenciaron significativamente de los de ciclo largo y corto.

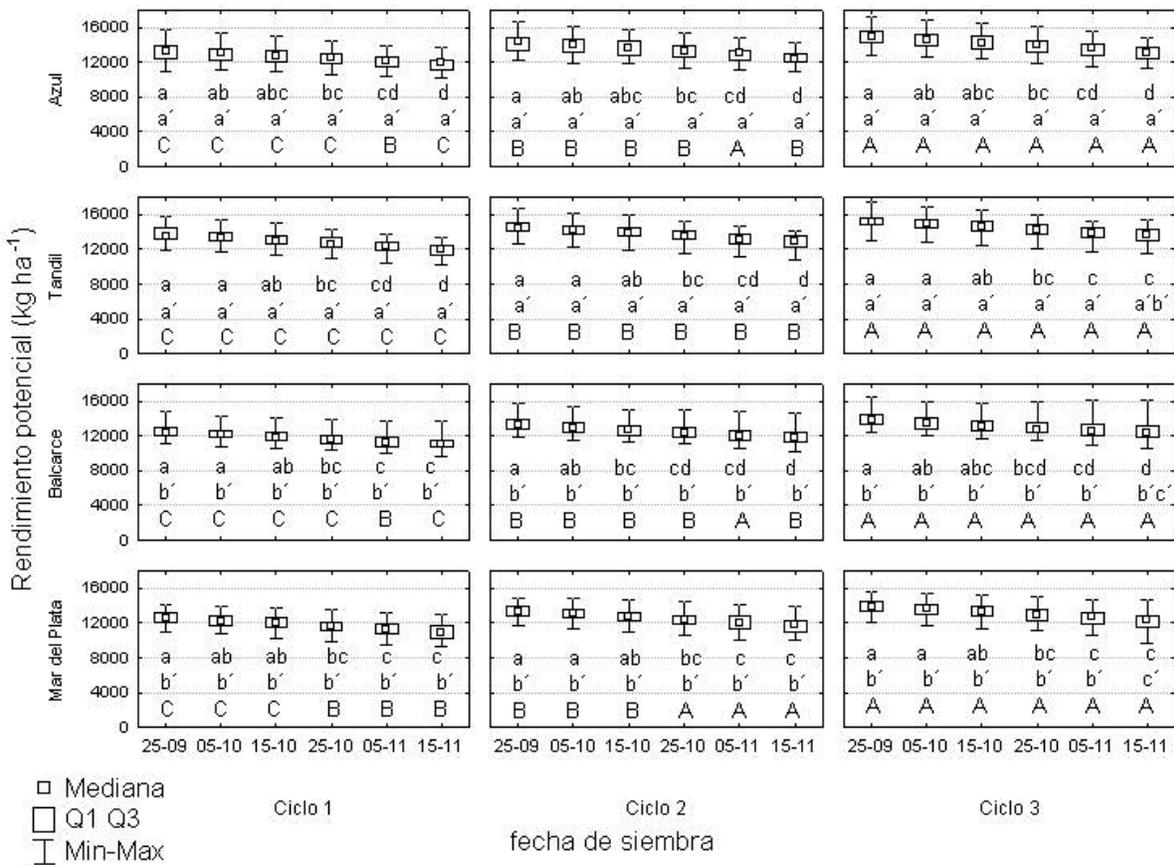


Figura 3. Variabilidad interanual del rendimiento potencial simulado (Y_m) del cultivo de maíz bajo escenarios con seis fechas de siembra y tres ciclos de madurez en cuatro localidades del centro-sudeste bonaerense. Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Y_m entre fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras minúsculas con apóstrofe diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Y_m entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Y_m entre ciclos para cada combinación de localidad y fecha de siembra.

La falta de respuesta en Y_a debido a cambios en las fechas de siembra, se debe en parte a que las fechas de siembra propuestas se distancian entre sí en apenas 10 días, y el ambiente hídrico al que se expone el cultivo no varía significativamente de acuerdo a los resultados del balance. Otro aspecto que merece discutir respecto a la estimación de rendimiento se relaciona con la metodología de estimación empleada: a) se aplicó el factor respuesta K_y sobre la evapotranspiración relativa de la EC completa, sin considerar una respuesta diferente de acuerdo a la susceptibilidad a la falta de agua, b) el factor respuesta K_y aplicado fue el mismo para los diferentes ciclos de madurez. Se puede considerar válido el procedimiento indicado en a) para estimar Y_a cuando la ET relativa PC no es significativamente diferente de la ET relativa EC. Los resultados de este trabajo indican el cumplimiento de esta condición siendo que en la mayoría de los escenarios simulados para

cada localidad la ET relativa PC fue similar a la ET relativa EC, de acuerdo al test de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$), con excepción de algunos escenarios simulados para Mar del Plata (ciclo corto con siembras del 05-10 y 15-10 con ET relativa PC mayor que ET relativa EC y ciclo largo con siembra del 05-11 con ET relativa durante EC mayor que la correspondiente a PC). Con respecto al punto b) no se dispone en la actualidad de suficiente información a nivel local que permita asumir valores de K_y diferentes de acuerdo al ciclo de madurez, aunque algunos resultados obtenidos en Balcarce (Della Maggiora et al., 2001) pueden sugerir la necesidad de estudiar con más detalle este aspecto y también así lo indican las recomendaciones de la FAO (Steduto et al., 2012). Figura 4. Variabilidad interanual (serie 1971-2010) del rendimiento real simulado (Y_a) del cultivo de maíz bajo escenarios con seis fechas de siembra y tres ciclos de madurez en cuatro localidades

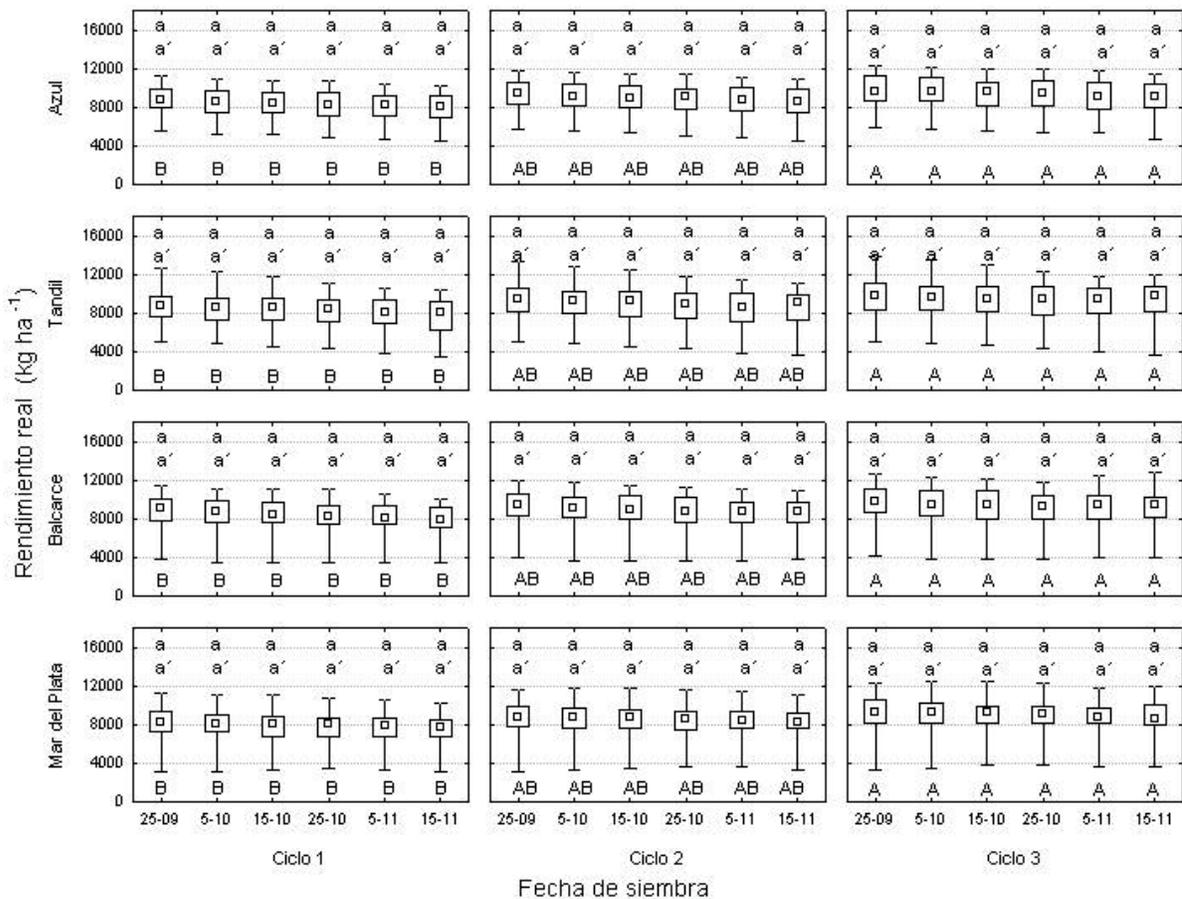


Figura 4. Variabilidad interanual (serie 1971 2010) del rendimiento real simulado (Ya) del cultivo de maíz bajo escenarios con seis fechas de siembra y tres ciclos de madurez en cuatro localidades del centro-sudeste bonaerense. Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Ya entre fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras minúsculas con apóstrofe diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Ya entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Ya entre ciclos para cada combinación de localidad y fecha de siembra.

del centro-sudeste bonaerense. Ciclo 1: ciclo corto. Ciclo 2: ciclo intermedio. Ciclo 3: ciclo largo. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Ya entre fechas de siembra para cada combinación de localidad y ciclo. Letras minúsculas con apóstrofe diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Ya entre localidades para cada escenario (fecha de siembra x ciclo de madurez). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) de Ya entre ciclos para cada combinación de localidad y fecha de siembra.

En la zona, no fueron detectadas diferencias significativas entre las fechas de siembra para la disminución de rendimiento debido a las deficiencias de agua ($Y_m - Y_a$) en cualquier combinación ciclo

de madurez y localidad, excepto en Mar del Plata (Tabla 5). En esta localidad, la reducción de rendimiento fue menor en las siembras más tardías, para cada uno de los ciclos de madurez. A su vez, la brecha obtenida en Mar del Plata se diferenció significativamente, en cualquier escenario de la obtenida para los escenarios simulados para Azul, mientras que los escenarios simulados para Tandil y Balcarce, no se diferenciaron significativamente entre sí, tampoco cada uno respectivamente de los obtenidos en la localidad más próxima (Azul=Tandil y Balcarce=Mar del Plata). No se detectaron diferencias significativas entre los ciclos de madurez en la brecha de rendimiento, cualquiera sea la combinación fecha de siembra x localidad.

Tabla 5. Valores medianos de la diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento real (Ym-Ya) en localidades del centro-sudeste bonaerense bajo escenarios con fechas de siembra (FS) y ciclos de madurez.

Localidad	FS	Diferencia entre rendimiento potencial y real (kg ha ⁻¹)					
		Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
Azul	25-09	4602	a a' A	5096	a a' A	5521	a a' A
	05-10	4596	a a' A	5116	a a' A	5404	a a' A
	15-10	4673	a a' A	4886	a a' A	4899	a a' A
	25-10	4488	a a' A	4602	a a' A	4759	a a' A
	05-11	4091	a a' A	4248	a a' A	4457	a a' A
	15-11	3889	a a' A	3892	a a' A	3947	a a' A
Tandil	25-09	4648	a a'b' A	5011	a a'b' A	5098	a a'b' A
	05-10	4597	a a'b' A	4793	a a'b' A	4958	a a'b' A
	15-10	4335	a a'b' A	4642	a a'b' A	4706	a a'b' A
	25-10	4166	a a'b' A	4377	a a'b' A	4630	a a'b' A
	05-11	4037	a a'b' A	4225	a a'b' A	4390	a a'b' A
	15-11	3843	a a'b' A	3954	a a'b' A	4049	a a'b' A
Balcarce	25-09	3770	a a'b' A	4056	a a'b' A	4148	a a'b' A
	05-10	3677	a a'b' A	3898	a a'b' A	3934	a a'b' A
	15-10	3667	a a'b' A	3747	a a'b' A	3779	a a'b' A
	25-10	3294	a a'b' A	3487	a a'b' A	3403	a a'b' A
	05-11	3127	a a'b' A	3060	a a'b' A	2977	a a'b' A
	15-11	2946	a a'b' A	2786	a a'b' A	3036	a a'b' A
Mar del Plata	25-09	4059	a b' A	4306	a b' A	4430	a b' A
	05-10	3948	a b' A	4234	a b' A	4292	a b' A
	15-10	3820	ab b' A	4063	a b' A	4109	a b' A
	25-10	3576	ab b' A	3759	a b' A	3761	abc b' A
	05-11	3379	ab b' A	3502	a b' A	3423	bc b' A
	15-11	3201	b b' A	3221	a b' A	3096	c b' A

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

CONCLUSIONES

En la zona del centro-sudeste bonaerense, 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 al efecto de las deficiencias de agua. Con base en el balance de agua simulado en suelos de 1m de profundidad, se observa un patrón homogéneo en la magnitud de las deficiencias de agua acumuladas durante toda la estación de crecimiento (DAEC) del cultivo de maíz, sin diferencias entre localidades para cada escenario evaluado. Las DAEC no varían de acuerdo al ciclo de madurez ni entre fechas de siembra (desde fines de setiembre a mediados de noviembre), excepto en una de las localidades bajo estudio. Solamente entre los ciclos de madurez cortos y largos se encuentran

diferencias significativas en las deficiencias de agua acumuladas durante el período crítico (DAPC), aunque no en todas las fechas de siembra y localidades. El análisis probabilístico del impacto de las deficiencias de agua sobre los rendimientos permite recomendar la siembra de ciclos intermedios o largos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP) que ha provisto la financiación del 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

- Allen, R; L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration. Guides for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper N°56, 300p.
- Andrade, F.H. y A.G. Cirilo, 2002. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Andrade, F.H. y Sadras V.O. (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Gráfica Sirio. pp. 137-156.
- Bonelli, L.E. 2014. Rendimiento potencial de maíz en Balcarce en función de la fecha de siembra y la duración del ciclo del híbrido. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 86 p.
- Capristo, P.; R.H. Rizzalli and F.H. Andrade, 2007. Ecophysiological yield components of maize hybrids with contrasting maturity. *Agronomy Journal* 99: 1111-1118.
- Della Maggiora, A.I.; Caviglia O. y F.H. Andrade, 2001. Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua en híbridos de maíz con diferente ciclo de crecimiento en Balcarce. Actas VII Congreso Nacional de maíz. Edición en CD. Noviembre de 2001. Pergamino.
- Della Maggiora, A.I.; A.I. Irigoyen, J.M. Gardiol, A. I., O. Caviglia y L. Echarte, 2002. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Revista Argentina de Agrometeorología* 2(2): 167-176.
- Della Maggiora, A.I.; J.M. Gardiol y A.I. Irigoyen, 2003. Coeficiente de cultivo de maíz basado en la evapotranspiración de referencia Penman-Monteith. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Brasil*. pp. 315-316.
- Della Maggiora, A.I. y A.I. Irigoyen, 2012. Balance agua y rendimiento simulado de maíz en el centro-sur de Buenos Aires: variabilidad asociada a la señal ENOS. Actas de XIV Reunión Argentina de Agrometeorología. Malargüe, Argentina. pp.43- 44.
- 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.
- Doorenbos, J. and A.H. Kassam, 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, N° 33. 193 p.
- 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.
- Grassini, P.; Thorburn, J., Burr, C. and K.G., Cassman, 2011. High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn-Belt: I. On-farm yield, yield-potential, and impact of management practices. *Field Crops Research*. 120: 142-150.
- 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.
- Irigoyen, A.I.; A.I. Della Maggiora y F. N. Cabria, 2004. Balance de agua seriado para tres perfiles de suelo del ambiente geomorfológico Lomas Interserranas de Balcarce (Arg.). Actas de X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología. 2 p. Mar del Plata, Argentina. En CD.
- Irigoyen, A. I.; A.I. Della Maggiora and L.R. Angelocci, 2011 a. Planning the growing season for maize based on climatic variability. Soil water balance. Anais de V Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Piracicaba, Brasil. En CD.
- Irigoyen, A.I.; A.I. Della Maggiora, R.H. Rizzalli and L.R. Angelocci, 2011 b. Planning the growing season for maize based on climatic variability. Relative evapotranspiration and yield. Anais de V Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Piracicaba, Brasil. En CD.
- Irigoyen, A. I.; A.I. Della Maggiora and L.R. Angelocci, 2012. Señal El Niño-Oscilación sur (ENOS) y deficiencias de agua para el cultivo de maíz. Actas de XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 5 p. Mar del Plata (Arg.). En CD.
- Maddonni, G. A. 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina-a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology* 107: 325-345.
- Moreno, R.; A.I. Irigoyen, G.A. Studdert y G.F. Domínguez, 2012. Rendimientos de maíz en Ensayos de Larga Duración (ELD) y señal EL Niño-Oscilación SUR (ENOS). Actas de XIV Reunión Argentina de Agrometeorología, Malargüe, Argentina. 2p.
- Panunzio Moscoso, M.P.; A. I. Irigoyen, A.M. Cabrera y A.I. Della Maggiora, 2014. Coeficiente de cultivo en maíz: escenarios de fechas de siembra y ciclos de madurez para Balcarce (Argentina). Actas de Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología. Piriápolis, Uruguay, pp. 77- 78.
- Panunzio Moscoso, M.P.; A. I. Irigoyen, A.I. Della Maggiora y R. H. Rizzalli, 2016. Riesgos climáticos para el cultivo de maíz en el centro-sudeste bonaerense: a. Temperaturas extremas. *Revista Argentina de Agrometeorología*. Edición Especial.
- Steduto, P. ; T C. Hsiao, Fereres, E. D. Raes, 2012. Crop yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* N°66, 500p.
- van Ittersum, M.K.; K.G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittonell and Z. Hochman. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance - A review. *Field Crops Research* 143: 4-17.