

IMPACTO DE EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO) Y LA FECHA DE SIEMBRA EN LA EVOLUCIÓN DEL AGUA ALMACENADA EN EL SUELO DURANTE EL CULTIVO DE MAÍZ

IMPACT OF ENSO (EI NIÑO SOUTHERN OSCILLATION) AND SOWING DATE ON SOIL WATER STORAGE EVOLUTION IN CORN

Mendez Mariano Javier^{1,2,*}, Sergio Bongianino¹
Guillermo Casagrande¹ & Graciela Vergara¹

Recibido 27/04/2018
Aceptado 27/06/2018

RESUMEN

La producción agropecuaria en la región semiárida pampeana central (RSPC) se ve fuertemente limitada por la disponibilidad de agua, la cual está asociada a la ocurrencia del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO). El objetivo del presente trabajo fue analizar la evolución del agua almacenada en el suelo (AAS) en distintas etapas fenológicas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para siembras de primavera temprana (SPTe) y tardía (SPTa) bajo distintas condiciones ENSO. Para alcanzar el objetivo se calculó AAS diaria a lo largo del ciclo del cultivo de maíz en SPTe (1 de octubre) y SPTa (1 de diciembre) para las campañas entre 1950-2015 utilizando el software Agroagua versión 4.1. Los resultados mostraron que las SPTa presentaron niveles superiores de AAS durante el período crítico del cultivo (15 días antes y 15 días después de la floración) y 30 días después del mismo que las SPTe. En SPTa los niveles más altos de AAS durante el período crítico del cultivo se alcanzaron en años La Niña, mientras que en SPTe se alcanzaron en años El Niño. Los niveles más altos de AAS estarían asociados a una mayor productividad del cultivo. Sin embargo, para confirmar esto último se tendrían que conducir ensayos de campo o simulaciones con programas que permitan estimar el rendimiento.

PALABRAS CLAVE: MEI, manejo del cultivo, balance de agua, ENSO

ABSTRACT

Agricultural production in the central semiarid region of Argentina (CSRA) is strongly limited by the availability of water, which is associated with the occurrence of El Niño southern Oscillation (ENSO). The aim of the work was to analyze the evolution of water stored in the soil (WSS) in different phenological stages of the corn (*Zea mays* L.) for early spring (ESS) and late (LSS) sowings under different ENSO conditions. To achieve the objective, daily WSS was calculated throughout the maize crop cycle in ESS (1 October) and LSS (1 December) for the period between 1950-2015 using the Agroagua software version 4.1. The results showed that LSS had higher WSS levels during the critical period of the crop (15 days before and 15 days after flowering) and 30 days after, than in ESS. In LSS the highest levels of WSS during the critical period of the crop were reached in La Niña years, while in ESS they were reached in El Niño years. The highest levels of WSS would be associated with higher crop productivity. However, to confirm the latter, field trials or simulations with programs to estimate the yield should be conducted.

KEY WORDS: MEI, crop management, water balance, ENSO

Cómo citar este trabajo:

Mendez M.J., S. Bongianino, G. Casagrande & G. Vergara. 2018. Impacto de el niño oscilación del sur (ENSO) y la fecha de siembra en la evolución del agua almacenada en el suelo durante el cultivo de maíz. *Semiárida* 28(1): 11-22.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades humanas más condicionadas por la acción meteorológica y climática. Todos los años la manifestación imprevisible del clima provoca fluctuaciones de los rendimientos de la producción primaria, es-

1 Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía. Santa Rosa. Argentina
2 Instituto de Ciencias de La Tierra y Ambientales (INCITAP). Universidad Nacional de La Pampa - CONICET. Santa Rosa. Argentina. * marianomendez@hotmail.com



pecialmente en aquellas regiones marginales para la producción como la región semiárida pampeana central (RSPC) de la Argentina donde se encuentra la provincia de La Pampa (Meinke *et al.*, 2006). Las regiones semiáridas del mundo como la región semiárida central de Argentina tienen un rol fundamental en la alimentación humana, a través de la producción de granos y carnes, que se ven fuertemente limitada por la disponibilidad de agua (Anapalli, 2016). La disponibilidad de agua para la producción de secano en la RSPC está dada por el aporte de la precipitación la cual está asociada a la ocurrencia del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) (Grimm, 2011; Penalba & Rivera, 2016). Este fenómeno oceánico atmosférico es el principal modulador de la variabilidad interanual de las precipitaciones a escala global (Grimm *et al.*, 2000; Trenberth & Stepaniak, 2001). El ENSO no solo afecta la variabilidad interanual de las precipitaciones, sino que también afecta su distribución a lo largo del año (Barros *et al.*, 2004; Grimm, 2014).

Para alcanzar la máxima producción de secano en relación al agua disponible en regiones semiáridas, los productores y asesores necesitan un entendimiento completo del sistema respecto de la oferta y demanda de agua de los cultivos a nivel de campo (Hsiao *et al.*, 2007). Es por esto que resulta crucial desarrollar las mejores prácticas de manejo bajo distintos escenarios climáticos (ENSO) a fin de aumentar la eficiencia de uso del agua, donde esta es la principal limitante productiva como resulta en regiones semiáridas.

El maíz (*Zea mays* L.) es una gramínea anual de ciclo primavera-estival cultivada en casi todas las superficies aptas para la agricultura en este planeta. En la provincia de La Pampa, se cultivan 225000 ha de maíz para cosecha en condiciones de secano, siendo el cultivo de verano más importante junto con la soja (Registro Provincial Agropecuario [REPAGRO], 2012). El maíz puede sembrarse tanto en primavera temprana (primeros días de octubre) como en primavera tardía (primeros días diciembre). En siembras de primavera temprana la floración del maíz tiene lugar a comienzos del verano (fines de diciembre-comienzos de enero) cuando la demanda atmosférica de agua, la radiación solar y

el potencial de rendimiento son máximos. En tanto que, en siembras de primavera tardía la floración de maíz tiene lugar a mediados del verano (primera quincena de febrero) donde la demanda atmosférica, la radiación y el potencial de rendimiento del cultivo es menor respecto de comienzos del verano. Los requerimientos de agua y la sensibilidad a la falta de este elemento cambian durante el ciclo del cultivo (Andrade *et al.*, 1996; FAO, 2014). La demanda de agua del maíz aumenta progresivamente desde la emergencia de la plántula hasta principio de espigazón y floración, momento a partir del cual las necesidades de agua disminuyen lentamente hasta madurez fisiológica (Andrade *et al.*, 1996). En tanto que, la sensibilidad al déficit hídrico aumenta desde el período vegetativo hasta la floración donde el cultivo tiene la máxima sensibilidad a la falta de agua para luego disminuir la sensibilidad durante el período de llenado de grano (Classen & Shaw, 1970; Doorenbos & Kassam, 1979; Musick & Dusek, 1980; Aslam *et al.*, 2015). De acuerdo con Andrade *et al.* (1996) y Aslam *et al.* (2015) deficiencias hídricas en el período vegetativo reducen el rendimiento en la medida que afectan la floración del cultivo. Shaw (1988) desarrolló un índice de deficiencia hídrica para el cultivo de maíz del cual se desprende que deficiencias hídricas en etapas vegetativas tempranas tienen efectos escasos sobre el rendimiento. Sin embargo, deficiencias hídricas en etapas vegetativas avanzadas afectan el rendimiento de maíz de manera más marcada en la medida que el estrés es más cercana a la floración (Shaw, 1988; Aslam *et al.*, 2015). Deficiencias hídricas moderadas alrededor de floración provocan pérdidas del 50% del rendimiento potencial mientras que deficiencias hídricas severas durante tiempos prolongados pueden provocar pérdidas totales del rendimiento. En la medida que las deficiencias hídricas ocurren más cerca del período de llenado del grano el efecto de éstas sobre el rendimiento de maíz es menor, alcanzando valores máximos de pérdida de 20% del rendimiento relativo en la etapa de grano pastoso. De acuerdo con Shaw (1988) el consumo de agua, el crecimiento y el rendimiento, se reducen cuando el contenido hídrico del suelo explorado por las raíces del cultivo de maíz se encuentra por debajo del 40-60%

de agua disponible. Es por esto que el rendimiento de maíz está estrechamente relacionado con el agua almacenada en el suelo en las fases fenológicas de prefloración y floración (Forte Lay & Troha, 1994; Robles, 1999; FAO, 2014; Aslam *et al.*, 2015). Por lo tanto, el rendimiento de maíz se halla sujeto a las variaciones anuales de la humedad edáfica en las fases fenológicas de prefloración y floración, que es el periodo donde la sensibilidad de cultivo al estrés hídrico es máxima (periodo crítico del cultivo) (Spescha *et al.*, 2001; Aslam *et al.*, 2015). Es por esto que el conocimiento del contenido hídrico del suelo a lo largo del ciclo del cultivo de maíz es gran importancia desde el punto de vista productivo.

Las mediciones de campo pueden ayudar a cuantificar el balance de agua en el suelo, pero estas mediciones pueden ser muy costosas y consumir mucho tiempo y mano de obra cuando se quieren hacer análisis para largos periodos de tiempo (20 a 30 años) para definir las mejores estrategias de manejo (suelo, cultivos, fechas de siembra) ante distintos escenarios climáticos. En este contexto los modelos de simulación han sido ampliamente aceptados como una herramienta para el desarrollo y análisis de estrategias para incrementar la productividad del agua utilizada para la agricultura (McNider *et al.*, 2015; Saseendran *et al.*, 2015; Okada *et al.*, 2015.). Una forma de conocer la disponibilidad de agua en el suelo para el vegetal es a través del balance hidrológico diario (Forte Lay & Troha, 1994).

El objetivo del presente trabajo fue analizar el agua disponible en el suelo en distintas etapas fenológicas del cultivo de maíz para siembras de primavera temprana y tardía bajo distintas condiciones ENSO.

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo para la localidad de General Pico (Lat. 35°40'S, Long. 63°45'W) en el noreste de la provincia de La Pampa, Argentina. El área tiene un clima templado, con una temperatura media anual entre 14,0°C y 16,0°C (1971-2000), un periodo libre de heladas de 220 días (1971-2000) y una precipitación media anual entre 800 y 900 mm (1967-2015) (Murphy, 2008). Los suelos de la región son mayormente Haplustoles Enticos, de textura franco

arenoso, sin limitaciones de profundidad (INTA-Provincia de La Pampa-Universidad Nacional de La Pampa, 1980), con 10 % de arcilla, 37 % de limo y 50 % de MO (Scianca, 2010). De acuerdo con su textura de los suelos de la región oriental donde se encuentra General Pico el agua útil total a la profundidad explorada por las raíces de maíz (1,2 m de profundidad) es de 140 mm (Water Conservation Factsheet, 2015), la cual se alcanzó con un agua retenida a capacidad de campo (CC) de 220 mm y un punto de marchitez permanente (PMP) de 80 mm.

Para alcanzar el objetivo planeado se estimó el almacenaje de agua diario correspondiente al ciclo del cultivo de maíz para las campañas comprendidas en el periodo 1950-2015 utilizando el software Agroagua versión 4.1 (Forte Lay *et al.*, 1996). El software fue alimentado con la serie pluviométrica diaria de la estación pluviométrica de General Pico perteneciente a la Administración Provincial del Agua (APA) y la evapotranspiración potencial diaria de referencia (Eto) calculada por el método de Penman (1948). Las Eto se ajustaron con los coeficientes de cultivo (Kc) utilizados por Gardiol *et al.* (1996). La fecha de siembra del cultivo de maíz fue simulada el primero de octubre para siembras de primavera temprana (SPTe) y el primero diciembre para siembras de primavera tardía (SPTa).

A fin de determinar el efecto de la variación de almacenaje sobre la producción del cultivos se consideraron los siguientes niveles de agua almacenada en el suelo: 1) Nivel de sequía absoluta (SA) que es el contenido de agua en el suelo por debajo del punto de marchitez permanente donde el cultivo no se puede proveer de agua para la supervivencia, 2) sequía condicional (SC) que es igual al nivel de sequía absoluta más la mitad del agua útil (diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y donde el agua es limitante para el crecimiento y desarrollo del cultivo, 3) Humedad óptima (HO), que es el agua disponible por encima de SC y hasta capacidad de campo donde el agua no limita el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Para definir si la campaña agrícola (julio a junio) fue Niño, Niña o Neutro se utilizó el índice múltiple del ENOS (MEI, Multi-ENSO

Index) y los criterios establecidos por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015). Se utilizó el MEI para el bimestre Agosto Septiembre, porque es el último bimestre previo a la decisión de SPTe o SPTa.

Para cada día del ciclo del cultivo de maíz en SPTe y SPTa en años Niño, Niña y Neutros se calculó el agua almacenada media en el suelo y su respectivo desvío con las siguientes ecuaciones:

$$AASM = \frac{\sum_{i=1}^n AAS_i}{n} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde AASM es el agua almacenada media, AAS_i agua almacenada en el suelo en el año *i* y *n* es el número total de años analizados.

$$DAASM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AAS_i - AASM)^2}{n}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde DAASM es el desvío estándar del agua almacenada media, AAS_i agua almacenada en el suelo en el año *i*, AASM es el agua almacenada media y *n* es el número de años.

En SPTe el periodo crítico del cultivo (PCC, periodo de máxima sensibilidad del cultivo al estrés hídrico) de maíz se simuló entre el 1 de diciembre y el 31 de diciembre. Mientras que en SPTa el PCC de maíz se simuló entre el 1 de febrero y el 28 de febrero. Para PCC de maíz se calculó el agua almacenada media promedio del periodo y su respectivo desvío con las siguientes ecuaciones:

$$AASMP = \frac{\sum_{i=1}^n AASM_i}{n} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde AASMP es el agua almacenada media promedio del periodo, AASM agua almacenada media en el suelo, *i* es el día de inicio del periodo calculado y *n* es el número de días.

$$DAASMP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AASM_i - AASMP)^2}{n}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde DAASMP es el desvío estándar del agua almacenada media promedio del periodo, AASMP_{*i*} agua almacenada media en el suelo en

el día *i*, AASM es el agua almacenada media promedio del periodo y *n* es el número de días del periodo considerado.

También se calculó el agua almacenada media promedio y su desvío para los 30 días posteriores al PCC. Las medias se analizaron estadísticamente con el test LSD de Fisher utilizando el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2002).

RESULTADOS

En siembras de primavera temprana (SPTe) la evolución del agua almacenada media en el suelo (AASM) se mantuvo constante y por encima de sequía condicional (SC), desde la siembra hasta mediados del periodo vegetativo para la condición EL Niño (EN) La Niña (LN) y neutros (N) (Figura 1). A partir de este momento el AASM comenzó a consumirse rápidamente hasta mediados de llenado de grano donde se alcanzaron los niveles más bajos de AASM, los cuales se encontraron por debajo de SC (nivel de agua almacenada en el suelo por debajo del cual el agua es limitante para el crecimiento del cultivo). Desde mediados de llenado de grano el AASM aumentó hasta madurez fisiológica alcanzando niveles entre humedad óptima (HO) y SC (Figura 1). La velocidad con que se consumió el AASM (pendiente de la curva) mostró diferencias marcadas entre condiciones el EN, LN y NN. Estas diferencias determinaron que se alcanzen niveles de AASM por debajo de SC (limitantes para el crecimiento) al finalizar el periodo crítico del cultivo (PCC) en las condiciones EN, al comienzo del inicio del PCC en años LN y a mediados del PCC en condiciones N (Figura 1). Al finalizar el PCC el AASM se encontró cerca de SC en condiciones EN, entre SC y punto de marchitez permanente (PMP) en condiciones N y cerca del PMP en condiciones LN.

La distancia entre el AASM y el AASM +/- un desvío (líneas punteadas en la Figura 1) muestra la variabilidad interanual del agua almacenada en el suelo (AAS), siendo mayor (menor) la variabilidad cuando mayor (menor) es la distancia (Figura 1). Los resultados encontrados muestran que en el PCC la variabilidad fue en condiciones LN < N < EN, lo cual muestra la mayor certidumbre (menor variabilidad inter-

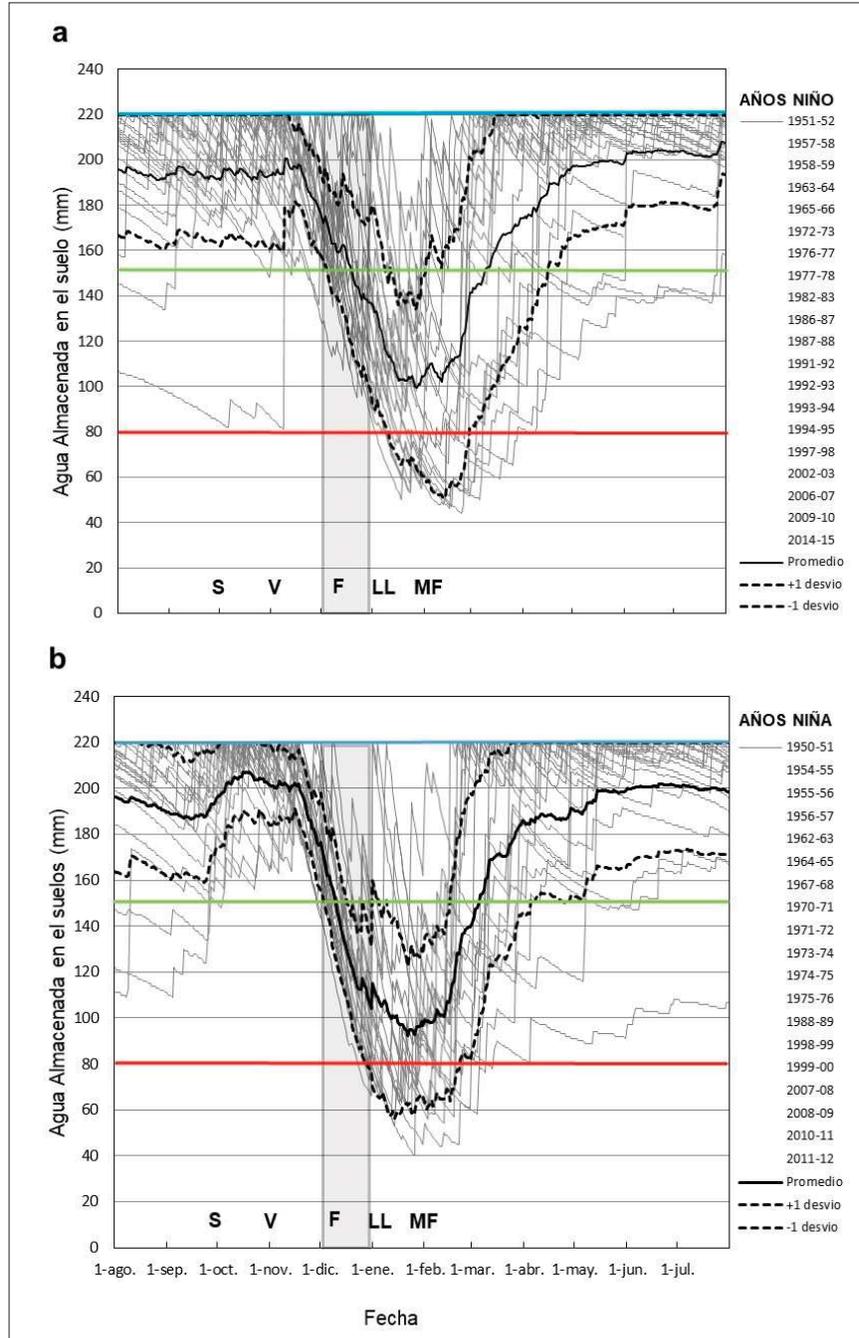


Figura 1. Continúa en la página siguiente

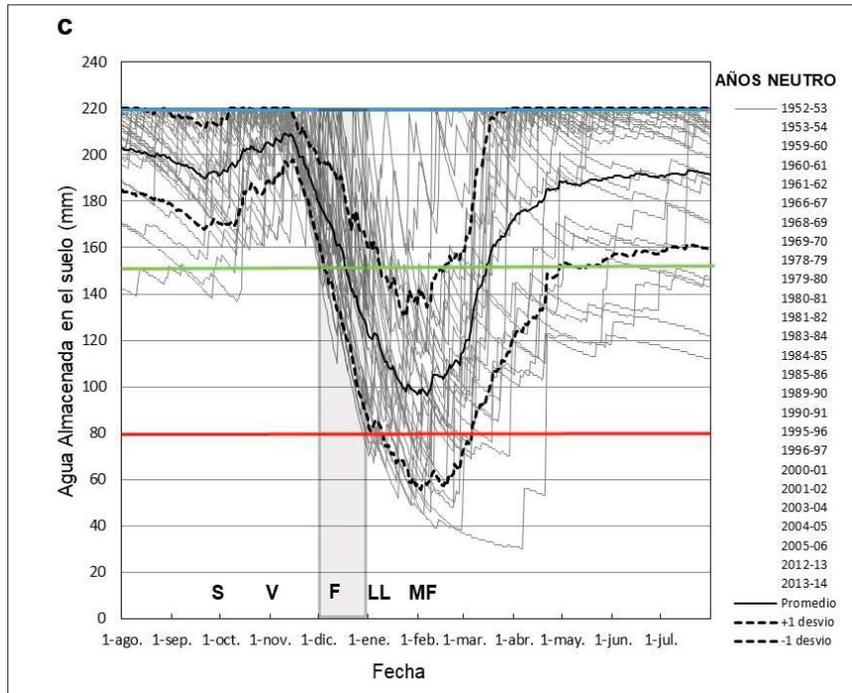


Figura 1. Evolución diaria del agua almacenada en el suelo durante el ciclo del cultivo de maíz sembrado en primavera temprana en condiciones a) Niños, b) Niñas y c) Neutros para el período 1950-2015. Donde, las líneas grises finas corresponden a la evolución del agua almacenada en el suelo en cada campaña, la línea negra más gruesa es la evolución del agua almacenada promedio de todas las campañas de su tipo. Las líneas punteadas negras por encima y por debajo de la línea promedio corresponden a la evolución del agua almacenada en el suelo promedio + 1 desvío y - 1 desvío respectivamente. La línea celeste representa el agua almacenada a capacidad de campo, la línea verde el agua almacenada a sequía condicional, la línea roja el agua almacenada al punto de marchitez permanente y el área sombreada con gris muestra el periodo crítico del cultivo de maíz. Las letras sobre el eje x indican: S siembra, V periodo vegetativo, F floración, LL llenado de grano y MF madurez fisiológica.

Figure 1. Daily evolution of water stored in the soil during the maize crop cycle planted in early spring for conditions a) El Niño, b) La Niña and c) Neutrals for the period 1960-2015. The fine gray lines correspond to the evolution of the water stored in each season, the thickest black line is the evolution of the average stored water. The black dotted lines above and below the average line correspond to the evolution of water stored in the average soil ± 1 standard deviation, respectively. The light blue line represents the water stored at field capacity, the green line represents the water stored in a conditional drought, the red line represents the stored water at the point of permanent wilting, and the gray shaded area shows the critical period of the corn crop. The letters on the x axis indicate: S sowing, V vegetative period, F flowering, LL grain filling and MF physiological maturity.

anual) en el consumo acelerado del agua AAS en las condiciones LN. Esto se debió a la fuerte demanda de agua por parte de la atmósfera (ETP) (Bianchi & Cravero, 2010) y del cultivo (floración del cultivo de maíz) de diciembre y las menores precipitaciones de diciembre y enero en años LN (Barros & Silvestri, 2002; Vera *et al.*, 2004).

Por otra parte, el agua almacenada en el suelo promedio (AASMP) durante el PCC fue en años LN < EL y N ($p < 0.1$) mostrando éstos las mayores limitaciones hídricas para el cultivo de maíz en condiciones la LN (Tabla 1). Estos resultados son producto de las menores precipitaciones en el trimestre octubre noviembre y diciembre asociadas al fenómeno de LN (Barros & Silvestri,

2002; Vera *et al.*, 2004; Bianchi & Cravero, 2010).

El AASMP 30 días después del PCC mostró limitaciones hídricas severas (niveles de AASM

encima de SC lo cual indica que el cultivo estuvo sometido a escasas limitantes hídricas a lo largo de todo su ciclo. Para condiciones EN el nivel de AASM más bajo estuvo por debajo de SC y se extendió desde mediados del PCC hasta

Tabla 1: Agua almacenada en el suelo medias promedio (AASMP) y coeficiente de variación para el periodo crítico del cultivo (PCC) y 30 días después del PCC.

Table 1: Water stored in the soil. Mean averages (AASMP) and coefficient of variation for the critical period of the crop (CCP) and 30 days after the CCP.

Fecha siembra	Variable	Unidades	PCC			30 días después PCC		
			Niño	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro
SPTe	AASMP	mm	154,5a	135,4b	153,5a	110,9a	100,6a	110,9a
	CV	mm	20.8	25.1	23	21	17.7	21
SPTa	AASMP	mm	152,7a	159,9a	151,5a	147,3a	155,5a	143,0a
	CV	mm	20	19.2	18.6	14.8	19.1	17.8

Las mismas letras indican que no existen diferentes estadísticas P>0.2
The same letters indicate that there are no different statistics P> 0.2

cercanos a SA) en las tres condiciones del ENOS (Tabla 1). Si bien el AASP media en los 30 días posteriores al PCC fue en condiciones LN menor que en EN y N, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p<0.2$). El desvío AASMP 30 días después al PCC mostró valores por encima de los encontrados durante PCC. El desvío AASMP 30 días después al PCC fue en condiciones LN superior al encontrado en EN y N.

En SPTa el AASM comenzó a consumirse lentamente desde la siembra o poco después de la misma hasta finales del PCC o comienzo del llenado de granos alcanzando niveles mínimos cercanos, pero por encima de SC en condiciones LN, cercanos pero por debajo de SC en EN y por debajo de SC en N (Figura 2). Luego el AASM se mantuvo constante un tiempo variable y comenzó a recuperarse lentamente hasta alcanzar a la madurez fisiológica del cultivo niveles por encima de la SC. La velocidad con que se consumió el AAS (pendiente de la curva) fue en condiciones LN menor que en EN y N (Figura 2). En las condiciones LN los niveles de AASM más bajos se alcanzaron desde mediados de floración hasta mediados de llenado de grano (Figura 2b). Sin embargo, el AASM estuvo por

mediados de llenado de grano (Figura 2a), periodo durante el cual las limitaciones hídricas fueron leves (niveles de AASM por debajo de SC). En tanto que, en condiciones N ocurrieron niveles de AASM limitantes para el cultivo desde mediados del PCC hasta mediados de llenado de grano (Figura 2c).

Al finalizar el PCC el AASM se encontró por encima de SC en condiciones LN, levemente por debajo de SC en EN y entre SC y PMP en condiciones N. El mejor comportamiento del AASM en condición LN se debió a que en los años con este fenómeno hay un aumento en las precipitaciones promedio y en la frecuencia de años con precipitaciones superiores a la media para el trimestre febrero, marzo y abril en el oeste de región pampeana de la Argentina (Servicio Meteorológico Nacional, 2018).

La dispersión de las curvas de AAS (distancia entre el AASM y AASM +/- desvío) fue alta en las condiciones EN, LN y N durante el PCC, mostrando la alta variabilidad interanual en el AAS bajos distintas condiciones de fenómeno el ENOS. Estos resultados se deben a la existencia de otros fenómenos oceánicos y atmosféricos que modulan la variabilidad de las precipitaciones como el Dipolo del Océano Indico, la Oscilación Madden and Julian y la Oscilación de la Antártida (Silvestri & Vera, 2003; Chan *et al.*, 2008; Alvarez *et al.*, 2015). El AASMP durante el PCC en condiciones LN se encontró levemente por encima respecto de EN y N, siendo estas diferencias no significativas estadísticamente ($p<0.1$) (Tabla1). Los niveles de AASM

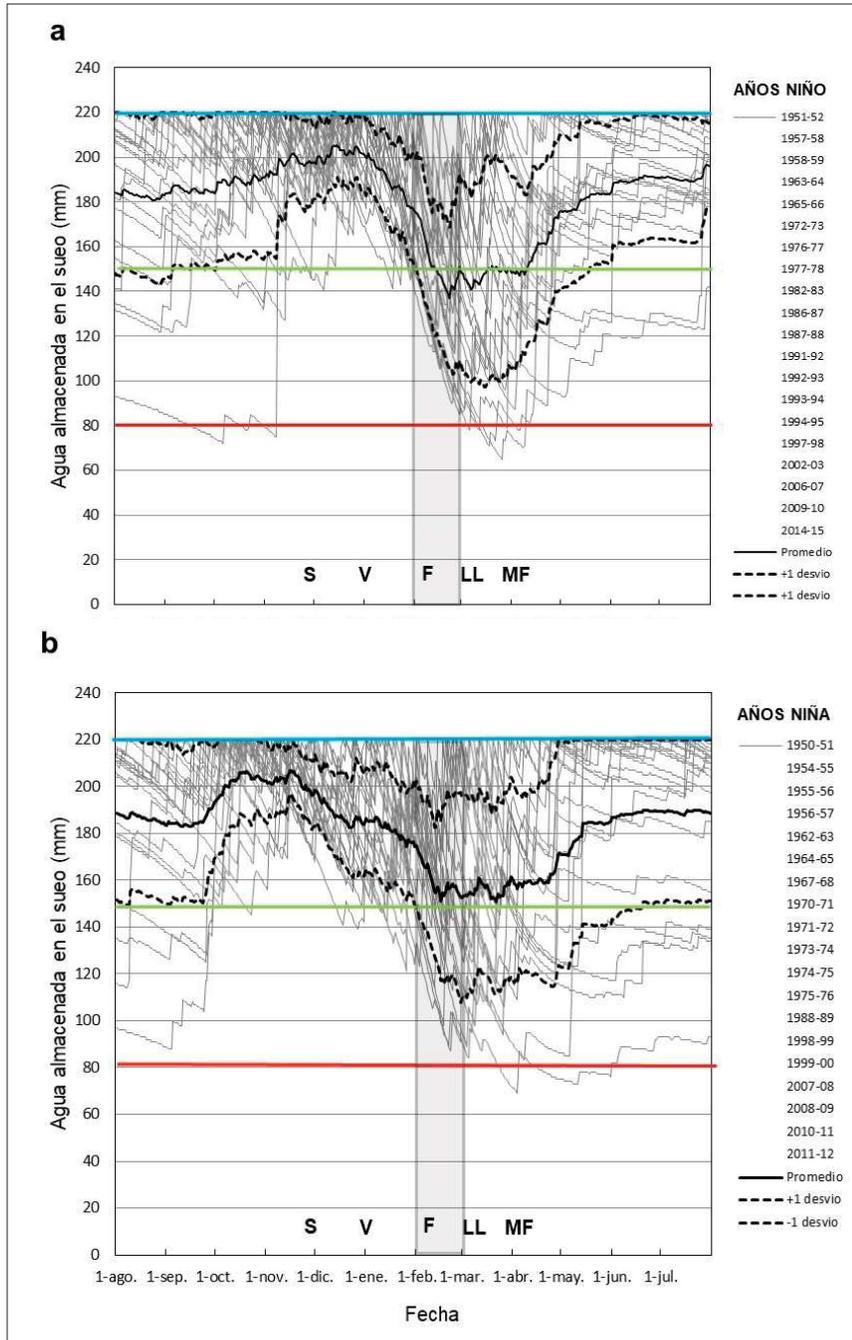


Figura 2. Continúa en la página siguiente

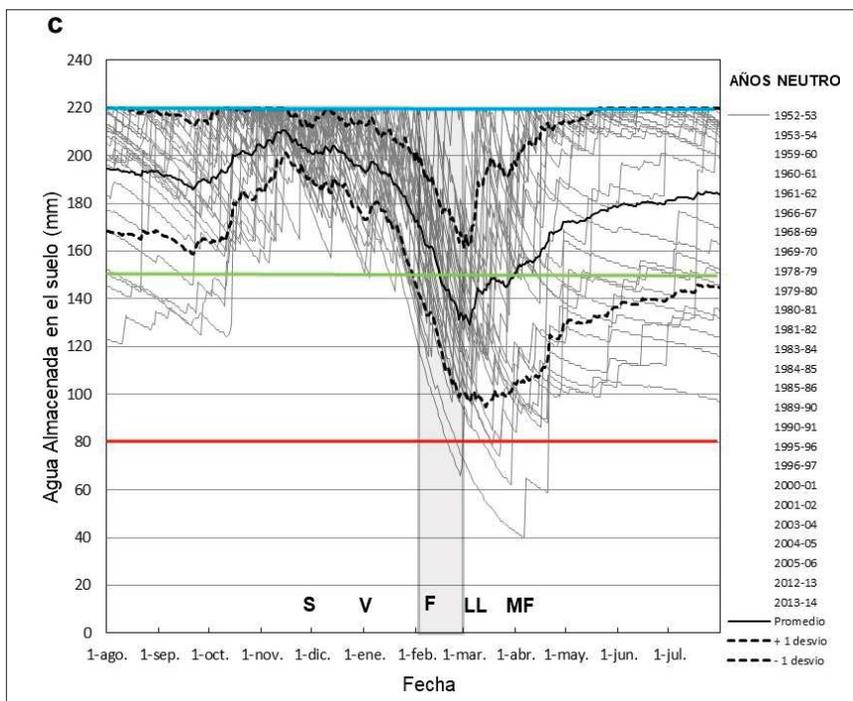


Figura 2. Evolución diaria del agua almacenada en el suelo durante el ciclo del cultivo de maíz en sembrado en primavera tardía para condiciones a) El Niño, b) La Niña y c) Neutros para el periodo 1960-2015. Las líneas grises finas corresponden a la evolución del agua almacenada en cada campaña, la línea negra más gruesa es la evolución del agua almacenada promedio. Las líneas punteadas negras por encima y por debajo de la línea promedio corresponde a la evolución del agua almacenada en el suelo promedio ± 1 desvío estándar, respectivamente. La línea celeste representa el agua almacenada a capacidad de campo, la línea verde representa el agua almacenada a sequía condicional, la línea roja representa el agua almacenada a punto de marchitez permanente, y el área sombreada con gris muestra el periodo crítico del cultivo de maíz. Las letras sobre el eje x indican: S siembra, V periodo vegetativo, F floración, LL llenado de grano y MF madurez fisiológica.

Figure 2. Daily evolution of water stored in the soil during the maize crop cycle planted in late spring for conditions a) El Niño, b) La Niña and c) Neutrals for the period 1960-2015. The fine gray lines correspond to the evolution of the water stored in each season, the thickest black line is the evolution of the average stored water. The black dotted lines above and below the average line correspond to the evolution of water stored in the average soil ± 1 standard deviation, respectively. The light blue line represents the water stored at field capacity, the green line represents the water stored in a conditional drought, the red line represents the stored water at the point of permanent wilting, and the gray shaded area shows the critical period of the corn crop. The letters on the x axis indicate: S sowing, V vegetative period, F flowering, LL grain filling and MF physiological maturity.

durante el PCC en SPTa fueron superiores a los encontrados en SPTe producto que en las primeras la máxima demanda atmosférica (diciembre-enero) no coincidió con la máxima demanda de cultivo (floración), que en el caso de SPTa ocurrió en febrero. Esto hizo que la demanda de agua del sistema planta atmósfera fuera menor en SPTa y que esta demanda de agua pueda ser

mejor satisfecha por la oferta de agua producto de las precipitaciones.

CONCLUSIONES

La evolución del agua almacenada en el suelo mostró diferencias marcadas entre fechas de siembra y en menor medida entre las distintas condiciones del ENSO. Las fechas de siembra de

primavera tardía presentaron mejor evolución del agua almacenada durante el período crítico del cultivo (15 días antes y 15 días después de la floración) y 30 días después del mismo que las fechas de primavera temprana, en las cuales se alcanzaron limitaciones hídricas severas durante el período crítico del cultivo. En las fechas de primavera temprana los mejores comportamientos de la evolución del agua almacenada en el suelo ocurrieron para condiciones de El Niño, mientras que en siembra de primavera los mejores comportamientos de la evolución del agua almacenada durante el período crítico del cultivo ocurrieron para eventos La Niña. A pesar de estos resultados, el principal factor que afectó la evolución del agua almacenada en el suelo durante el ciclo del cultivo de maíz fue la fecha de siembra, aunque la condición del ENSO contribuyó a mejorar o empeorar la evolución del agua almacenada en el suelo dentro de una misma fecha de siembra. Otros indicadores oceánicos como el Oceanic Niño Index (ONI) y pronóstico del ENSO como del International Research Institute for Climate and Society (IRI) deberían ser evaluados a fin de desarrollar más y mejores herramientas que ayuden a la toma de decisión respecto de la fecha de siembra más adecuada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Facultad de Agronomía ULPam. e Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP, CONICET-UNLPam).

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F., A. Cirilo, S. Uhart & M. Otegui. 1996. Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa, Dekalb Press. INTA, FCA UNMP. 292 p.
- Alvarez MS., CS. Vera, GN. Kiladis, B. Liebmann. 2015. Influence of the Madden Julian Oscillation on precipitation and surface air temperature in South America. *Climate Dynam.* 46: 245-262.
- Aslam M., M.A. Maqbool & R.Cengiz. 2015. Drought Stress in Maize (*Zea mays* L.) Effects, Resistance Mechanisms, Global Achievements and Biological Strategies for Improvement. SpringerBriefs in Agriculture DOI 10.1007/978-3-319-25442-5.
- Anapallia S.S., L.R. Ahuja, P.H. Gowda, L. Ma, G. Marek, S.R. Evett & T.A. Howelle. 2016. Simulation of crop evapotranspiration and crop coefficients with data in weighing lysimeters. *Agric. Water Manag.* 177: 274-283.
- Barros V.R. & G.E. Silvestri. 2002. The relation between sea surface temperature at the subtropical South-Central Pacific and precipitation in Southeastern South America. *J. climate* 15: 251-267.
- Barros V., L. Chamorro, G. Coronel & J. Baez. 2004. The major discharge events in the Paraguay River: Magnitudes, source regions, and climate forcings. *J. Hydrometeorol.* 5: 1161-1170.
- Bianchi A.R. & S.A.C. Cravero 2010. Atlas climático digital de la república Argentina. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro regional Salta-Jujuy. <http://inta.gob.ar/documentos/atlas-climatico-digital-de-la-republica-argentina>.
- Chan S.C., S.K. Behera & T. Yamagata 2008. Indian Ocean Dipole influence on South American rainfall. *Geophys. Res. Lett.* 35: L14S12.
- Classen M.M. & R.H. Shaw. 1970. Water deficit effect on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62: 652.
- Di Rienzo J.A., M. Balzarini, F. Casanoves, L. González, M. Tablada & C.W. Robledo. 2002. Infostat/Professional version 1.1.
- Doorenbos J. & A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO irrigation and drainage. 33: 101-104.
- INTA-Provincia de La Pampa-Universidad Nacional de La Pampa. 1980. Inventario de los recursos Naturales de la provincia de la Pampa. Segunda ed. 495 p.
- FAO. 2014. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. E-ISBN 978-92-5-308564-4.
- Forte Lay J.A. & A. Troha. 1994. Estimación diaria del balance hídrico para el estudio de los rendimientos en maíz en Pergamino. *GEOACTA* 17(1): 69:78.
- Forte Lay J.A., J.L. Aiello & J. Kuba. 1996. Software AGROAGUA versión 4.1. Resumen publicado en la revista Agrosoft'95. Argentina. 4 p.
- Gardiol J., I. Irigoyen & A. Della Maggiora. 1996. Evapotranspiración máxima del cultivo de maíz. Actas VII Congreso Argentino de Meteorología y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de meteorología. Buenos Aires. Argentina. Actas 1: 81-82.
- Grimm A.M. 2011. Interannual climate variability in

- South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 25: 537-554.
- Grimm A.M. 2004: How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dyn.* 22: 123-138.
- Grimm A., V. Barros & M. Doyle. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña. *J. Climate* 13: 35-58.
- Hsiao T.C., P. Steduto & E. Fereres. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrig. Sci.* 25: 209-231.
- Jirak I., W.R. Cotton & L.R. McAnelly. 2003: Satellite and Radar Survey of Mesoscale Convective Systems Development. *Mon. Weather Rev.* 131: 361-382.
- Lorenz E. 1963: Deterministic non-periodic flow. *J. Atmos. Sci.* 20: 130-141.
- Iizumi T., J.J. Luo, A.J. Challinor, G. Sakurai, M. Yokozawa, H. Sakuma, M.E Brown & T. Yamagata. 2014. Impacts of el niño southern oscillation on the global yields of major crops. *Nat. Commun.* 5.
- Meinke H., R. Nelson, P. Kocic, R. Stone, R. Selvaraju & W. Baethgen. 2006. Actionable knowledge: from analysis to synthesis. *Clim. Res.* 33: 101-110.
- McNider R.T., C. Handyside, K. Doty, W.L. Ellenburg, J.F. Cruise, J.R. Christy, D. Moss, V. Sharda, G. Hoogenboom & P. Caldwell. 2015. An integrated crop and hydrologic modeling system to estimate hydrologic impacts of crop irrigation demands. *Environ. Modell. Softw.* 72: 341-355.
- Musick J.T. & D.A. Dusek. 1980. Irrigated corn yield response to water. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 23: 92-98, 103.
- NOAA. 2015. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/rank.html>
- Murphy G.M. 2008. Atlas agroclimático de la Argentina. Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Buenos Aires. 130 p.
- Okada M., T. Iizumi, G. Sakurai, N. Hanasaki, T. Sakai, T. Okamoto, M. & Yokozawa. 2015. Modeling irrigation-based climate change adaptation in agriculture: model development and evaluation in Northeast China. *J. Adv. Model. Earth Syst.* 7: 1409-1424 <http://dx.doi.org/10.1002/2014MS000402>.
- Penman H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London (A)* 193: 17-21.
- Penalba, O.C. & J.A. Rivera. 2016. Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America – emphasis in regional drought occurrences.
- Registro Provincial Agropecuario [REPAGRO], 2012. <http://www.estadistica.lapampa.gov.ar/estadisticas-agropecuarias/repagro.html>
- Saseendran S.A., T.J. Trout, L.R. Ahuja, L. Ma, G. McMaster, A.A. Andales, J. Chaves & J. Ham. 2015. Quantification of crop water stress factors from soil water measurements in limited irrigation experiments. *Agric. Syst.* 137: 191-205.
- Scianca C. 2010. Cultivos de cobertura en molisoles de la región pampeana. Producción de materia seca, eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno e incidencia sobre el cultivo de soja. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, 134 p.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2018. Mapas Estadísticos Relacionados con la Precipitación y el Fenómeno "ENOS" en Argentina. En Servicios Climáticos> Pronóstico Climático Trimestral> ¿Qué es el niño? / ¿Qué es el niña?. <http://www3.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=clima&id=111>.
- Silvestri G.E. & C.S. Vera. 2003. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophys. Res. Lett.* 30: 2115-2118.
- Shaw R.H. 1988. Climate requirement. In: Corn and Corn Improvement (G.F. Dudley & J.W. Eds.). 3rd Edition. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, pp. 609-638.
- Spescha L., R. Hurtado & J. Gardiol. 2001. Climatología del agua en el suelo para el cultivo de maíz en la zona de Balcarce (Buenos Aires, Argentina). *Rev. Arg. Agronomet.* (RADA) 1(1): 43-49.
- Trenberth K.E. & D.P. Stepaniak. 2001. Indices of El Niño evolution. *J. Climate* 14: 1697-1701.
- Tolk J.A., T.A. Howell & S.R. Evett. 1998. Evapotranspiration and yield of corn grown on three high Plains soils. *Agron. J.* 90: 447-454.
- Toth Z. & E. Kalnay. 1993. Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 74: 2317-2330.

Mendez, Bongianino, Casagrande & Vergara

Vera C., G. Silvestri, V. Barros & A. Carril. 2004. Differences in El Niño response over the Southern. *J. climate* 17(9): 1741-1752.

Water Conservation Factsheet 2015. Soil water storage capacity and available soil moisture. Ministry of Agriculture. British Columbia. Factsheet 619.000-1. 4 p.