



ABSORCIÓN DE AGUA Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN CAMPOS BAJOS: ¿ES EL HORIZONTE NÁTRICO UNA LIMITANTE?

Garello, F.J.^{1*}, M.A. Agüero², M. Crespo³, M.A. Cicchino⁴, E.M. Melani⁴, E.L. Ploschuk⁵, M.A. Taboada⁶.

¹ Tesista doctoral INTA/CONICET, ayudante *ad-honorem* cátedra de Edafología FAUBA, AER INTA Chascomús, Mitre 202, 7130 Chascomús (BA) –

² Estudiante de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de La Plata.

³ Estudiante de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

⁴ EEA INTA Cuenca del Salado, AER Chascomús.

⁵ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Cultivos Industriales.

⁶ Instituto de Suelos, INTA. CONICET

*fedegarello89@gmail.com

RESUMEN: Los campos bajos son una de las últimas áreas de expansión de la frontera agrícola en nuestro país. Un ejemplo es la Cuenca del Salado, que es una región que en la última década mostró incrementos de la superficie sembrada con cultivos agrícolas. Este trabajo, investigó los patrones de absorción de agua del cultivo de maíz en suelos Natracuales, bajo dos regímenes hídricos contrastantes. Se realizaron mediciones semanales de humedad gravimétrica y se comparó la evolución del agua disponible para el cultivo a lo largo del ciclo. El rendimiento y la biomasa total disminuyeron ante incrementos del PSI, el pH y la CE. El régimen hídrico no redujo los niveles de producción (8260 a 8872 kg ha⁻¹). El horizonte A, alcanzó aportes de hasta ≈ 90% del agua disponible, mientras que el horizonte Bt solo aportó el 50%. Este horizonte, redujo 141 kg ha⁻¹ los rendimientos de maíz por cada unidad de sodio intercambiable, pero no los limitó totalmente. Una parte del aporte hídrico al cultivo provino de capas más profundas del suelo, demostrando que el horizonte nátrico no limitó totalmente la profundidad efectiva del cultivo. Estos resultados abren nuevas perspectivas para el desarrollo de la agricultura en la región.

PALABRAS CLAVE: maíz, absorción de agua, PSI.

INTRODUCCION

A fines del siglo XX y principios del XXI, la superficie bajo cultivos agrícolas en Argentina creció de manera exponencial, principalmente en las provincias del centro y norte de la Argentina (Baldi et al., 2006). A partir del 2005, este desplazamiento de la frontera agrícola mostró una mayor importancia en La Cuenca del Salado (MAGyP, 2019). Esta región es una llanura baja de ≈ 10 millones de ha, localizada en el centro-este de la provincia de Buenos Aires, con complejos de suelos que van desde Argiudoles a Natracuales de acuerdo a la posición en la toposecuencia (INTA, 1980). También que presentan una elevada variabilidad horizontal en cuanto a sus limitaciones al desarrollo de los cultivos (Batista & León, 1992). Los más habituales son: horizontes argílicos, elevados contenidos de Na⁺ intercambiable y diversos grados de salinidad y alcalinidad (INTA, 1980) y se caracterizan por tener anegabilidad frecuente (Vázquez et al., 2011).

En este sentido, los horizontes argílicos, pueden reducir de manera significativa la velocidad de profundización radical aunque las grietas generadas por los procesos de expansión-contracción permitan que las raíces alcancen estratos más profundos (Dardanelli et al., 2012). Pero también pueden actuar como una reserva hídrica para el cultivo en períodos prolongados de ausencia de precipitaciones (Otegui et al., 1995) por una menor tasa de consumo en esos horizontes (Dardanelli et al., 2012). Por otro lado, niveles crecientes de Porcentaje de Sodio

Intercambiable (PSI) afectan negativamente la productividad de los cultivos debido a que: i) reducen la calidad física de los suelos (USSL, 1954) y ii) efectos tóxicos en especies susceptibles (Bernstein, 1975).

Independientemente de estas limitaciones, se ha registrado un proceso de agriculturización sostenido en la Cuenca del Salado, donde el maíz ha tenido un rol estratégico en las rotaciones, tanto agrícolas como mixtas, incrementándose 3.18 veces la superficie sembrada en los últimos 10 años (MAGyP, 2019). El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar el rol del horizonte Bt con diversos grados de sodicidad en la provisión de agua al cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Generalidades:

Se llevó a cabo un experimento en parcelas a campo de 10 m de largo, con un ancho de 6 surcos distanciados a 0,52 m, ubicado en la Chacra Experimental Integrada Chascomús (MDA-INTA) (35° 44' S; 58° 03' O), provincia de Buenos Aires. Estos ambientes, son normalmente denominados “suelos manchoneados”, debido a que presentan una variabilidad lateral en sus propiedades físicas y químicas, que originan limitaciones de diferente magnitud al crecimiento de los cultivos.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 3 tratamientos y 6 repeticiones:

- 1) Control: Cultivo que recibió el 100% de las precipitaciones en el ciclo.
- 2) Sequía: Cultivo que a partir de V₁₁ se le colocaron lonas en el entresurco para impedir el ingreso de agua proveniente de las precipitaciones.
- 3) Sin cultivo: parcelas sin cobertura vegetal y que recibió el 100% de las precipitaciones en el ciclo.

La siembra se realizó manualmente el 18/12/2019, a razón de 3 plantas por sitio, con posterior raleo a una planta por sitio al estado de tres hojas liguladas (V₃; Ritchie & Hanway, 1982). Se estableció una densidad de plantas de 6,5 pl m² y el híbrido utilizado fue el SURSEM 566 VT3. En el mismo momento de la implantación del maíz, se realizó la siembra de sorgo granífero en los bordes de cada parcela, con la finalidad de evitar el movimiento lateral del agua entre parcelas. Luego de la siembra, se realizaron dos piques por parcela para determinar el PSI, la CE 1:1 (dS m⁻¹) y el pH actual (1:2.5) del horizonte Bt de cada una de las parcelas.

Cultivo:

Se registró semanalmente la fenología del cultivo utilizando la escala de Ritchie y Hanway (1982). Cuando alcanzó el estadio de V_T (Ritchie & Hanway, 1982), se calculó el área foliar máxima (AF_{max}) por planta, en 7 plantas por parcela, como la sumatoria de todas las hojas verdes presentes en floración. El área foliar de cada hoja verde (AF_h) se obtuvo utilizando la ecuación [1]:

$$AF_h = L \times A \times 0,75 \quad [1]$$

Donde L y A corresponden al largo y ancho máximo de la lámina. El índice de área foliar (IAF en m² de hoja m⁻² de suelo) se obtuvo como el producto del AF_{max} por la densidad.

La cosecha se realizó el 8/5/2020, se cortaron las plantas de 1 m² y se las secó en estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso seco constante. Una vez secas, la Biomasa Total (BT) se obtuvo pesando las plantas completas correspondientes a cada parcela. Posteriormente, las espigas se desgranaron a mano, obteniéndose el Rendimiento en Grano (RG).

Contenido hídrico del suelo:

Cada 7-10 días, se determinó el contenido hídrico del suelo por gravimetría (Hg), cada 0,2 m hasta 1 m de profundidad, tomando una muestra por parcela. En los horizontes A y C se los transformó a humedad volumétrica (Hv) a partir de la densidad aparente (Dap) medida en cada uno al inicio del ensayo, mientras que en el caso del horizonte Bt, que presenta cambios

de volumen en función de su Hg, la Dap fue estimada a partir de la ecuación propuesta por Taboada et al. (1988) y posteriormente se calculó la Hv.

Absorción de agua:

Las variaciones en la Hv de cada horizonte fueron expresadas como Porcentaje de Agua Disponible para el Cultivo (%ADC) siguiendo la ecuación propuesta por Ritchie (1981) [Ec 2].

$$\%ADC = \frac{\theta_a - \theta_{PMP}}{\theta_{CC} - \theta_{PMP}} \quad [Ec 2]$$

Donde θ_a , θ_{CC} y θ_{PMP} representan la Hv de agua en el suelo en el momento de la medición, a Capacidad de Campo y en Punto de Marchitez Permanente, respectivamente.

Análisis estadístico:

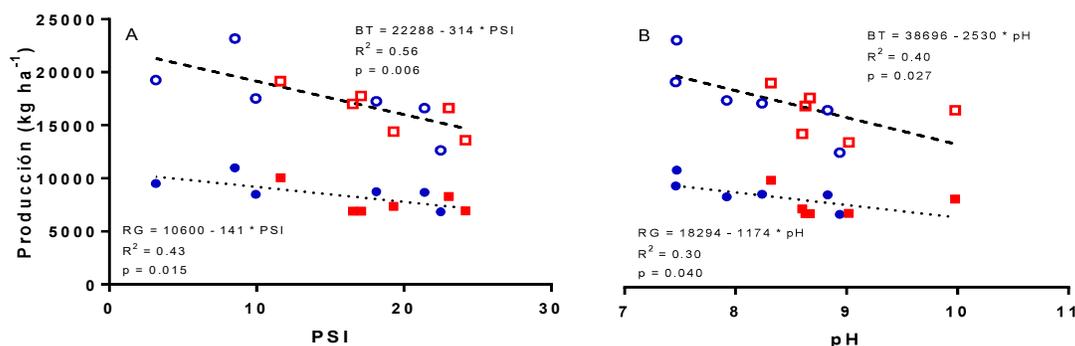
Se realizaron análisis de regresión y correlación para determinar el efecto de las variables químicas del suelo y la condición hídrica, en el RG y la BT. Para la variable %ADC se realizaron ANOVAs en cada profundidad, para medidas repetidas en el tiempo, considerando la variable "Días Después de la Siembra" (DDS) como factor y las propiedades químicas PSI, pH y CE como covariables dentro del modelo estadístico. Se realizaron test de comparaciones múltiples de Fisher para determinar las diferencias mínimas significativas (DMS) entre tratamiento ($\alpha = 0.05$). Se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo et al., 2018) para realizar los ANOVAs y regresiones. Para seleccionar el modelo que mejor explicó las variaciones del RG y BT se utilizó el método de Akaike (AIC).

RESULTADOS Y DISCUSION

Producción de Biomasa total y Rendimiento en grano

Los RG y BT alcanzados estuvieron en el rango de 6.848 a 10.983 kg ha⁻¹ y 12.629 a 23.187 kg ha⁻¹, respectivamente. Estas variaciones estuvieron asociadas con las variables químicas del horizonte Bt (Figuras 1: A, B y C), siendo el PSI, la que mejor explicó los niveles de producción (Figura 1A). No obstante, los tratamientos Control vs Sequía no mostraron diferencias significativas ($p = 0,98$) en términos promedio. Por otro lado, el RG y la BT mostraron incrementos positivos lineales y significativos cuando el IAF en V_T fue mayor (Figura 1D).

La BT y el RG son función de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento, la cual se relaciona de manera directa con el IAF a floración (Andrade, Sadras, Vega, & Echarte, 2005). Por otro lado, elevados niveles de Na⁺ y/o pH > 8, redujeron el IAF en los cultivos debido a la acumulación de niveles tóxicos en la planta o una menor solubilidad de nutrientes (Adcock et al., 2007; Bernstein, 1975). Las parcelas presentaron un amplio rango en las propiedades químicas que llegaron a valores que condicionaron el normal desarrollo del cultivo, limitando la intercepción de la radiación debido a reducciones en el IAF y consecuentemente, los niveles de producción alcanzados.



Continúa en la próxima página

Continuación de la página anterior

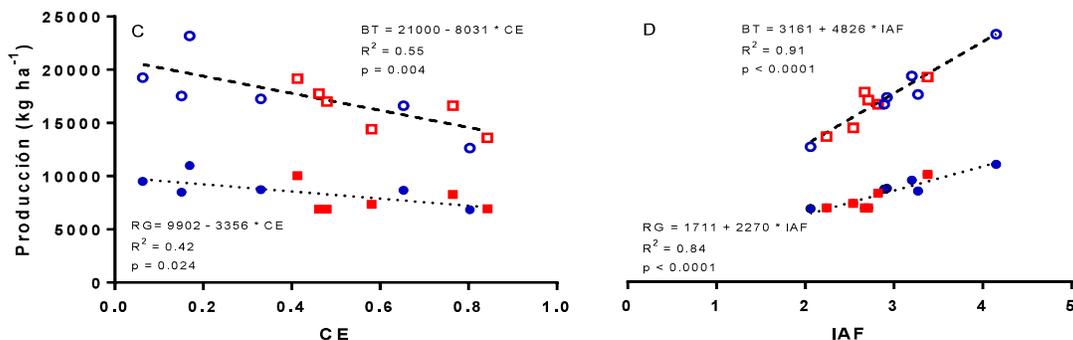


Figura 1. Variaciones del rendimiento en grano (RG; símbolos llenos) y la biomasa total (BT; símbolos vacíos) en función del PSI (A), el pH (B), la CE (C) y el IAF (D), bajo dos niveles hídricos: Control (Círculos Azules) y Sequía (Cuadrados Rojos).

Dinámica de la absorción de agua.

En el Hz A, entre los 0 y 35 DDS los tratamientos con cultivo (Control y Sequía) vs Sin Cultivo mostraron el mismo patrón de variación, atribuidas mayormente a las demandas por evaporación y no a las de transpiración. Sin embargo, entre los 41 a los 83 DDS ($V_9 - R_3$) se observan diferencias, que podrían atribuirse a la absorción por parte del cultivo (Figura 2A). Al comparar entre tratamientos Control vs Sequía, las diferencias se observaron a los 56 y 63 DDS ($p < 0.0001$), como resultado del impedimento impuesto por las lonas a la entrada de agua de las precipitaciones. En el tratamiento Sequía, el %ADC entre 41-90 DDS, se encontró por debajo del límite de 50% de ADC, mientras que en las parcelas Control, las variaciones del ADC fluctuaron entre el $\approx 12\%$ y 100% como resultado del aporte de las lluvias (Figura 2A y 2F).

En el Hz Bt, las diferencias entre los tratamientos con cultivo (Control y Sequía) vs Sin Cultivo, se dieron entre los 56 y 90 DDS ($V_{11} - R_{3.5}$). Al comparar entre los tratamientos Control vs Sequía no se encontraron diferencias significativas. En estas parcelas, el rango de variación del %ADC fue de entre 62 - 100% (Figura 2B), evidenciando un limitado aporte de agua por parte de este horizonte.

En el Hz BC, las diferencias entre las parcelas Sin Cultivo vs Con Cultivo (Control y Sequía) se observan entre los 63 y los 111 DDS ($V_T - R_4$), sin embargo, se puede apreciar que a los 63 y 70 DDS ($V_T - R_1$), las parcelas del tratamiento Sequía absorbieron un $\approx 20\%$ más de agua que las parcelas Control. El %ADC en las parcelas con cultivos (Control y Sequía), fluctuó entre 120 - 195%, mientras que en el tratamiento Sin Cultivo fue siempre mayor al 165% (Figura 2C).

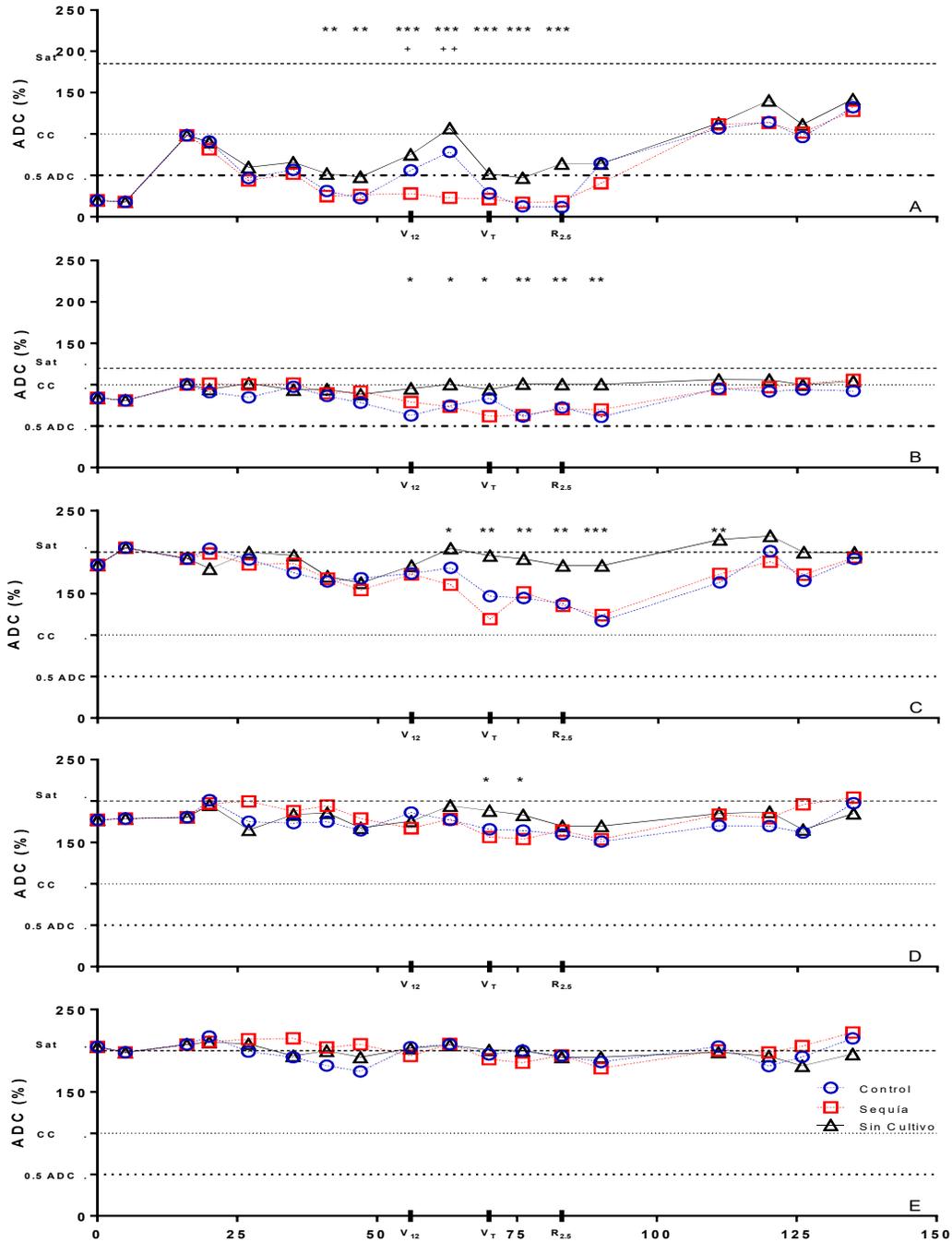


Figura 2. Variación del Porcentaje de Agua Disponible para el Cultivo (%ADC), en función de los días después de la siembra (DDS) para las parcelas Control (Círculos Azules), Sequía (Cuadrados Rojos) y Sin Cultivo (Triángulos Negros), en los horizontes A (A), Bt (B), BC (C), C₁ (D) y C₂ (E). Los asteriscos (*) indican diferencias significativas entre parcelas Sin Cultivo vs Con Cultivo (Control y Sequía) de: 0,05: *, 0,01: ** y 0,0001: ***. Los signos “+” indican diferencias significativas entre parcelas Control vs Sequía de: 0,05: +, 0,01: ++.

En el H_z C₁ no se encontraron diferencias entre los tratamientos Control vs Sequía, y entre éstas parcelas y el tratamiento Sin Cultivo, las diferencias solo fueron a los 70 y 76 DDS (R₁ y R_{1.5}). Por su parte, el H_z C₂ no mostró variaciones asociadas a los tratamientos, independientemente de estar o no con cultivo. Los rangos de variación del %ADC en las capas

C₁ y C₂ fueron de entre 155 – 200% y de entre 175 – 215%, respectivamente (Figuras 2: D y E, respectivamente).

Las reducciones volumétricas que presenta el horizonte Bt ante reducciones del contenido hídrico (Taboada et al., 1988) pudieron haber generado grietas que permitieron el paso de las raíces del cultivo a horizontes más profundos y poder consumir el agua requerida en el período de definición del RG cuando la demanda hídrica es máxima (Andrade et al., 2005; Della Maggiora et al., 2009). Los cambios volumétricos asociados a los procesos de contracción-expansión en éste horizonte, permiten que el cultivo atraviese y absorba agua de horizontes más profundos.

A partir de que el %ADC en los horizontes BC, C₁ y C₂ estuvo entre CC y Saturación (Figuras 2C, 2D y 2E respectivamente), se puede establecer que el perfil explorado por las raíces presentó aportes de napa, lo que evitó que el perfil alcance el límite a partir del cual el cultivo estaría sometido a un estrés hídrico (Pilatti et al., 2012; Sadras & Milroy, 1996).

CONCLUSIONES

Los rendimientos de maíz fueron disminuidos 141 kg ha⁻¹ por cada un (1) punto de incremento en los valores de PSI del horizonte Bt, el cual generó un bajo aporte al total de agua absorbida por el cultivo. Sin embargo, se registró un aporte substancial de los horizontes más profundos, demostrando que el horizonte nátrico no fue una limitante absoluta para las raíces. Estos resultados abren nuevas perspectivas para el desarrollo de la producción de granos en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Adcock, D; McNeill, A. M; McDonald, G. K & Armstrong, R. D. 2007. Subsoil constraints to crop production on neutral and alkaline soils in south-eastern Australia: A review of current knowledge and management strategies. *Aus J Exp Agr*, 47(11), 1245-1261.
- Andrade, F.H; Sadras, V. O; Vega, C. R. C & Echarte, L. 2005. Physiological Determinants of Crop Growth and Yield in Maize, Sunflower and Soybean. *Journal of Crop Improvement*, 14(1-2), 51-101.
- Baldi, G; Guerschman, J. P & Paruelo, J. M. 2006. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. *Agr Ecosyst Environ*, 116(3-4), 197-208.
- Batista, W. B & León, R. J. C. 1992. Asociación entre comunidades vegetales y algunas propiedades del suelo en el centro de la Depresión del Salado. *Ecología Austral*, 2, 47-55.
- Bernstein, L. 1975. Effects of Salinity and Sodidity on Plant Growth. *Annu. Rev. Phytopathol*, 13(1), 295-312.
- Dardanelli, J. L; Collino, D. J; Otegui, M. E & Sadras, V. O. 2012. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En E. H. Satorre, R. L. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui, & R. Savin (Eds.), *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo* (pp. 375-440). Editorial Facultad de Agronomía UBA.
- Della Maggiora, A. I; Gardiol, J. M & Irigoyen, A. I. 2009. Requerimientos hídricos. En F. H. Andrade & V. O. Sadras (Eds.), *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja* (pp. 115-126). Publicaciones INTA.
- Di Rienzo, J. A; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M & Robledo, C. W. 2018. *InfoStat versión 2018*.
- INTA. 1980. *La Pampa Deprimida: Condiciones de drenaje de sus suelos*.
- Katerji, N; Van Hoorn, J. W; Hamdy, A & Mastrorilli, M. 2004. Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. *Agr Water Manag*, 65, 95-101.
- MAGyP. 2019. Estadísticas. Recuperado de <https://datos.agroindustria.gov.ar/>.
- Otegui, M. E; Andrade, F. H & Suero, E. E. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subject to drought at silking. *Field Crops Res*, 40, 87-94.
- Pilatti, M. A; De Orellana, J; Imhoff, S. C & Da Silva, Á. P. 2012. Review of the critical limits of

- the optimal hydric interval. *Ci. Suelo*, 30(1), 9-21.
- Rengasamy, P & Olsson, K. A. 1991. Sodidity and soil structure. *Aus J Soil Res*, 29(6), 935-952.
- Ritchie, J. T. 1981. WATER DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT-ATMOSPHERE SYSTEM. *Plant Soil*, 58, 81-96.
- Ritchie, S. W & Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops, vol. 48. *Iowa State University of Science and Tecnology. Cooperative Extension Service*.
- Sadras, V. O & Milroy, S. P. 1996. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: A review. *Field Crops Res*, 47(2-3), 253-266.
- Taboada, M. A; Lavado, R. S & Camilión, M. C. 1988. Cambios volumétricos en un natracuol típico. *Ci. Suelo*, 6(2), 151-157.
- USSL. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. En *United States Department of Agriculture*.
- Vázquez, P; Masuelli, S; Platzeck, G & Boolsen, O. 2011. Recurrencia de anegamiento en la pampa deprimida , Provincia de Buenos Aires. En R. Rivas, F. Carmona, & D. Ocampo (Eds.), *Teledicción: Recientes aplicaciones en la Región Pampeana* (pp. 31-46).