



## VII CONGRESO DE LA RED ARGENTINA DE SALINIDAD II SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE SALINIDAD

“Mitigar la problemática de salinidad para conservar los ambientes y la producción”



19 al 22 de septiembre de 2023. Santa Rosa, La Pampa.

### ALCALINIDAD O PROFUNDIDAD AL HORIZONTE ARCILLOSO ¿QUÉ LIMITA MÁS LOS RENDIMIENTOS INTER-ANUALMENTE EN LA CUENCA DEL SALADO?

Garello, F.J.<sup>1\*,2</sup>, E.M. Melani<sup>1</sup>, M.A. Cicchino<sup>1</sup>, M.A. Taboada<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AER INTA Chascomús; \* Mitre 202, Chascomús, Prov. de Buenos Aires; <sup>2</sup> Cátedra de Edafología, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.

Mail de contacto: garello.federico@inta.gob.ar.

**RESUMEN:** En la Pampa Deprimida los rendimientos de los cultivos están influenciados por la alcalinidad subsuperficial y un drenaje deficiente asociado con la presencia de un horizonte arcilloso de espesor y profundidad variable. Sin embargo, existen discrepancias en cuanto a la magnitud y a la frecuencia interanual del impacto de estas variables sobre la productividad de los cultivos. Los objetivos de este trabajo fueron cuantificar el impacto de la alcalinidad, espesor y profundidad al horizonte arcilloso sobre los rendimientos de maíz y soja. Se realizó un muestreo a escala de lote donde se determinaron éstas variables en diferentes puntos de dos lotes en producción y se los relacionó con los rendimientos relativos de soja y maíz de campañas previas. Los rendimientos de soja y maíz respondieron más a las variaciones en la alcalinidad ( $R^2$  entre 20% y 40%) que a la profundidad a la cual se encuentra el horizonte Bt/Btn ( $R^2$  entre 11% y 18%), mientras que el espesor de dicho horizonte no impactó en los RR ( $R^2$  menor al 5%). Por cada punto de incremento de la alcalinidad, los RR se redujeron en  $\approx 11\%$  independientemente de las precipitaciones recibidas en el ciclo, mientras que por cada 1 cm de incremento en la profundidad al horizonte Bt/Btn los RR se incrementaron alrededor de 0.65% solo los años con precipitaciones mayores a 400 mm en soja y 450 mm en maíz. Estos resultados permiten direccionar sobre líneas de investigación que tiendan a evaluar prácticas de manejo que atenúen la alcalinidad del subsuelo.

**PALABRAS CLAVE:** Btn, espesor del horizonte A, rendimiento de cultivos.

#### INTRODUCCION

En la Pampa Deprimida los rendimientos de los cultivos son menores a los de otras regiones (ej: Pampa Ondulada, Pampa Arenosa, Sudeste de Buenos Aires) (SAGyP, 2023), lo cual estaría asociado a la alcalinidad subsuperficial y un drenaje deficiente asociado con la presencia de un horizonte arcilloso de espesor y profundidad variable (INTA, 1980, 1990).

Si bien el impacto en los cultivos, tanto de la alcalinidad como de la profundidad al horizonte arcilloso, está fuertemente asociada a la especie analizada (Hazelton y Murphy, 2007), en términos generales existe una concordancia en que los rendimientos aumentan cuanto mayor es la profundidad al horizonte Bt (Belford et al., 1992; Micucci y Taboada, 2006; Taboada y Alvarez, 2008; Maggi et al., 2016) o al horizonte alcalino (Bandera, 2013; Filippi et al., 2019; Hamblin y Tennant, 1987), y se reducen cuanto mayor es la alcalinidad (Adcock et al., 2007; Rengasamy et al., 2022; Sale et al., 2019). Sin embargo, estos trabajos, fueron mayormente realizados en suelos con una sola restricción y no con la combinación de ambas. Por lo tanto, existe un vacío de conocimiento acerca del comportamiento de los cultivos cuando las dos limitantes (sodicidad y profundidad al Bt/Btn) están de manera simultánea en los suelos de una región sub-húmeda, donde podría esperarse que las precipitaciones atenúen el impacto de alguna de ellas y/o ambas.



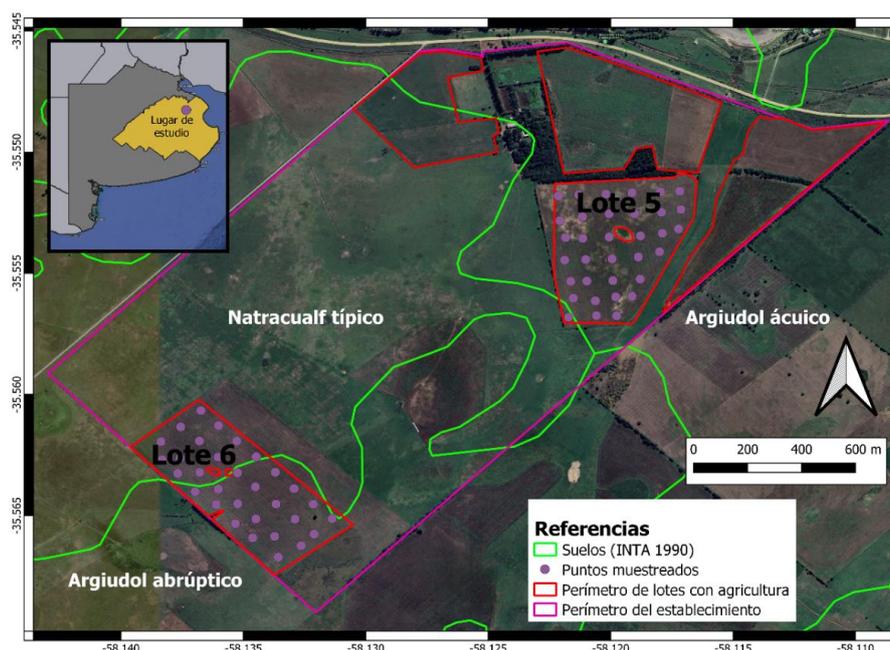
Dada la necesidad de establecer a escala de lotes de campo el impacto de la variabilidad espacial de: 1) la profundidad al horizonte Bt/Btn, 2) el espesor de este horizonte y 3) su grado de alcalinidad, en este trabajo se busca determinar el impacto conjunto de un rango de estas variables sobre los rendimientos de maíz y soja a escala de lote.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en el establecimiento “San Martín”, ubicado sobre la ruta 20, a 15 km al este de la ciudad de Chascomús en la región norte de la Pampa Deprimida. Las precipitaciones promedio son 1031 mm, distribuidos 238 mm, 191 mm, 282 mm y 320 mm en otoño, invierno, primavera y verano, respectivamente (AER INTA Chascomús, 2022).

Se realizó un muestreo en grilla en los dos lotes indicados en la **Figura 1** que cubren 55 hectáreas (45 % de la totalidad destinada a la actividad agrícola). Las estaciones de muestreo estaban distanciadas a  $\approx$  80-90 m una de otra. En cada estación se hicieron tres piques con un barreno. En cada pique se midió la profundidad al horizonte Bt/Btn (i.e: capa no arcillosa) y el espesor del horizonte Bt/Btn. Las submuestras del horizonte Bt/Btn se unificaron y se les determinó el pH en una relación suelo:agua 1:2,5. El pH de los horizontes arcillosos es una variable que presenta una muy baja variación interanual (Hazelton y Murphy, 2007). Se obtuvieron los rendimientos relativos (RR) de los cultivos de campañas previas realizados en cada lote (**Tabla 1**) a partir de mapas de rendimiento generados con cosechadora autopropulsada.

Se evaluó el impacto de las propiedades edáficas i) pH del horizonte Bt/Btn, ii) profundidad al horizonte Bt/Btn y iii) espesor del horizonte Bt/Btn sobre los RR de cada cultivo mediante análisis de regresiones simples para cada año. Posteriormente se compararon las pendientes entre años para una misma variable en aquellas relaciones donde la pendiente fue significativamente diferente de 0.



**Figura 1.** Plano del establecimiento “San Martín”, lotes bajo agricultura (Líneas rojas) y límites entre clases de suelo (Líneas verdes). Los puntos indican los sectores donde se realizaron los piques en las grillas.

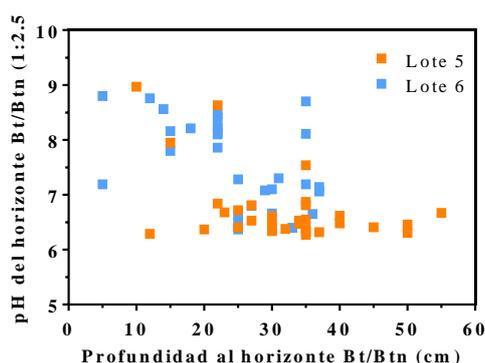
**Tabla 1.** Cultivos realizados en cada campaña en los lotes bajo estudio, precipitaciones recibidas en el ciclo y rendimiento promedio a escala de lote.

Lote	Campaña	Cultivo	Variedad/Híbrido	Precipitaciones en el ciclo (mm)	Rendimiento promedio <sup>¶</sup> (Tn ha <sup>-1</sup> )
5	18-19	Soja 2°	N 4713	263	3,05
	19-20	Maíz Tardío	DK 7210 VT3	597	9,55
	20-21	Soja 1°	4x3 i pro	415	3,31
6	18-19	Maíz Temprano	DK 7210 VT3	618	10,04
	19-20	Soja 1°	4x3 i pro	572	3,31
	20-21	Maíz Temprano	DK 7210 VT3	437	7,13

<sup>¶</sup> Valor obtenido a partir del mapa de rendimiento.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Todas las propiedades edáficas medidas variaron considerablemente en el área de estudio. La profundidad al horizonte Bt/Btn varió entre 5 y 55 cm, mientras que el espesor del horizonte Bt/Btn varió entre 17 y 53 cm. Por su parte, el pH del horizonte Bt/Btn fluctuó desde un mínimo de 6,27 a un máximo de 8,97. En este sentido se observó que donde el horizonte Bt/Btn estaba a más de 40 cm su pH nunca superó los valores de 6,5, mientras que cuando se encontró entre 5 y 40 cm la relación no fue muy clara, encontrándose valores en el rango de 6,2 a 8,9 (**Figura 2**).



**Figura 2.** Relación entre el pH y la profundidad al horizonte Bt, en los dos lotes muestreados.

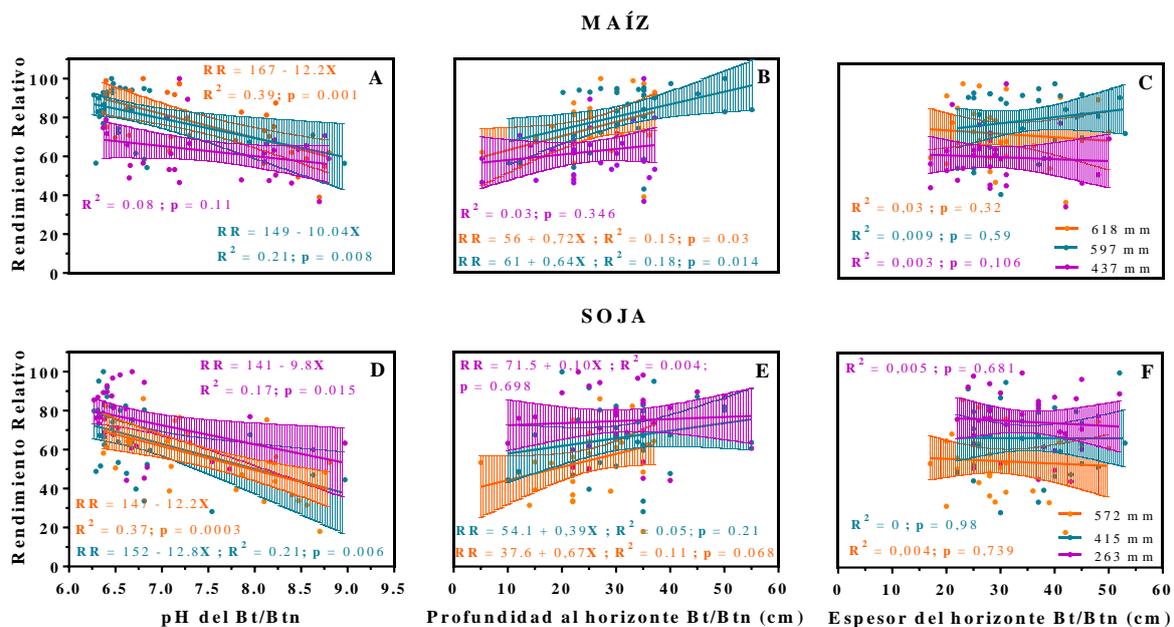
Los incrementos del pH del suelo provocaron descensos de 10,4% y 12,2% en los RR de maíz los años con mayores precipitaciones durante el ciclo. En el caso de la soja, los descensos fueron de 9,8% a 12,8% las tres campañas evaluadas. Las pendientes entre años para cada cultivo no difirieron estadísticamente entre sí ( $p = 0,625$  y  $p = 0,840$  para maíz y soja, respectivamente) (**Figura 3. A y D**). Es decir que, las reducciones en los RR fueron de alrededor del 11% por cada unidad de incremento del pH para ambos cultivos. Estos resultados son similares a los encontrados por Rao et al. (2008), quienes observaron reducciones de entre 7-12% del RR ante incrementos unitarios de pH en genotipos de arroz con alta y media tolerancia a la alcalinidad. A su vez, están en línea con los incrementos de hasta el 13% del RR observados en trigo por Tavakkoli et al. (2022) al reducir el pH entre 1-1,5 unidades ante la aplicación de 2,5 a 5 Tn ha<sup>-1</sup> de yeso. A su vez, se relacionan a los resultados de Garelo et al. (2023), quienes determinaron que el incremento de la alcalinidad redujo entre 9,8% y 11% el rendimiento de maíz por cada un punto de aumento del pH.

Por otra parte, por cada un centímetro en que se incrementó la profundidad al horizonte Bt/Btn, el RR de maíz aumentó 0,64% y 0,72%, sin diferencias estadísticas entre pendientes ( $p = 0.538$ ), mientras que en la soja solo se vio una tendencia leve ( $R^2 = 0,11$ ;  $p = 0,068$ ) a que el RR se incremente 0,67%, pero solo la campaña con mayores precipitaciones durante el ciclo (**Figura 3. B y E**). Estos resultados sugieren que más que un problema de falta de agua disponible por un muy somero horizonte A, durante esos años lluviosos los sectores con el horizonte Bt/Btn más cercano a la superficie habrían sido más propensos de padecer anegamientos temporarios, los que redujeron significativamente su rendimiento. Similares efectos perniciosos por anegamiento temporario fueron observados por Adcock et al. (2007) en trigo y por Sale et al. (2019) en canola. Por el contrario, cuando las precipitaciones fueron escasas, los cultivos pudieron haber consumido una mayor proporción del agua de los horizontes A y Bt/Btn, en línea con lo encontrado por Garello et al. (2023). En relación a lo observado en este estudio, Otegui et al. (1995) también encontraron un mayor consumo de agua desde el horizonte Bt por parte del cultivo de maíz cuando fue sometido a condiciones de sequía estacional.

En el caso de los suelos de la región estudiada, que se caracterizan por ser expansibles (Taboada et al., 1988; Taboada et al., 2001), puede pensarse que el agrietamiento del horizonte arcilloso debido a su desecación cuando hay épocas secas permite el pasaje de raíces (Taboada y Alvarez, 2008), facilitando así el acceso de las raíces y el consumo de agua de estratos inferiores al horizonte Bt/Btn. Esta vía de acceso hace al cultivo de maíz y posiblemente a la soja (Yang et al., 1996) menos dependiente de la profundidad a la que se encuentra dicho horizonte.

Observando los  $R^2$  de las regresiones, se determinó que el RR dependió más del pH del horizonte Bt/Btn que de la profundidad a la que se encuentra el mismo, ya que el pH explicó entre el 20% y el 40% de los RR, mientras que la profundidad al horizonte Bt/Btn solo lo hizo en un 11% a 18% (**Figura 3. A, B, C y D**).

Ninguno de los cultivos evaluados respondió a variaciones en el espesor del horizonte Bt/Btn (**Figura 3. C y F**). Los resultados hallados brindan evidencia muy sólida acerca del impacto negativo de la alcalinidad del horizonte Bt/Btn sobre los RR de maíz y soja, permitiendo discutir las ideas sobre las razones por las cuales la profundidad del horizonte Bt/Btn no causa los mismos efectos negativos.



**Figura 3.** Relaciones entre el Rendimiento Relativo (RR) del maíz (A, B y C) y la soja (D, E y F), en función del pH (A y D), la profundidad (B y E) y el espesor (C y F) del horizonte Bt/Btn. Los puntos indican el RR de cada cultivo, y el pH, la profundidad y el espesor del Bt/Btn en cada estación de muestreo. Las bandas indican los valores medios de RR en cada año y los IC 95%. Los colores indican las precipitaciones recibidas por los cultivos durante el ciclo.

## CONCLUSIONES

El efecto negativo del pH del horizonte Bt/Btn sobre los rendimientos de maíz y soja demostró ser de mayor importancia relativa que el efecto positivo de la profundidad a la que se encuentra dicho horizonte. Los rendimientos relativos en soja y maíz cayeron alrededor del 11% por cada unidad de incremento de pH, independientemente de las precipitaciones recibidas por el cultivo en el ciclo de crecimiento. Esto permite direccionar esfuerzos en determinar qué prácticas de manejo podrían atenuar dicha limitación (Ej: aplicación de enmiendas, uso de variedades/híbridos tolerantes, entre otros).

## BIBLIOGRAFIA

- 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. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(11), 1245-1261. <https://doi.org/10.1071/EA06250>
- Bandera, R. (2013). *Rehabilitación de suelos salino-sódicos: evaluación de enmiendas y de especies forrajeras*. Universidad de Buenos Aires.
- Belford, R. K., Dracup, M., & Tennant, D. (1992). Limitations to Growth and Yield of Cereal and Lupin Crops on Duplex Soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 32(7), 929-945. <https://doi.org/10.1071/EA9920929>
- Filippi, P., Jones, E. J., Ginns, B. J., Whelan, B. M., Roth, G. W., & Bishop, T. F. A. (2019). Mapping the Depth-to-Soil pH Constraint, and the Relationship with Cotton and Grain Yield at the Within-Field Scale. *Agronomy*, 9(5), 251. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050251>
- Garello, F. J., Ploschuk, E. L., Melani, E. M., & Taboada, M. A. (2023). Soil water availability and water absorption by maize in sodic soils with high water table. *Field Crops Research*, 295(September 2022), 108877. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108877>

- Hamblin, A. P., & Tennant, D. (1987). Root length density and water uptake in cereals and grain legumes: How well are they correlated. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38(3), 513-527. <https://doi.org/10.1071/AR9870513>
- Hazelton, P., & Murphy, B. (2007). Interpreting Soil Test Results: WHAT DO ALL THE NUMBERS MEAN? En *Interpreting Soil Test Results*. <https://doi.org/10.1071/9781486303977>
- INTA. (1980). *La Pampa Deprimida: Condiciones de drenaje de sus suelos*.
- INTA. (1990). Cartas de suelos de la República Argentina: Provincia de Buenos Aires. Recuperado 5 de julio de 2021, de <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.htm>
- Maggi, A. E., Behrends Kraemer, F., Introcaso, R. M., & Thompson, D. (2016). Caracterización física y química de un argiudol vértico de la pampa ondulada con erosión hídrica en el surco y entresurco. *Ciencia del Suelo*, 34(1), 113-126.
- Micucci, F. G., & Taboada, M. A. (2006). Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 86(2), 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.004>
- 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 Research*, 40, 87-94. <https://doi.org/10.12968/bjca.2015.10.4.190>
- Rao, P. S., Mishra, B., Gupta, S. R., & Rathore, A. (2008). Reproductive stage tolerance to salinity and alkalinity stresses in rice genotypes. *Plant Breeding*, 127(3), 256-261. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01455.x>
- Rengasamy, P., de Lacerda, C. F., & Gheyi, H. R. (2022). Salinity , Sodicity and Alkalinity. En T. S. d. Oliveira & R. W. Bell (Eds.), *Subsoil Constraints for Crop Production* (pp. 83-107). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-00317-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-00317-2_4)
- SAGyP. (2023). Estimaciones Agrícolas. Recuperado 12 de enero de 2023, de <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>
- Sale, P. W., Gill, J. S., Peries, R. R., & Tang, C. (2019). Crop responses to subsoil manuring. I. Results in south-western Victoria from 2009 to 2012. *Crop and Pasture Science*, 70(1), 44-54. <https://doi.org/10.1071/CP18115>
- Taboada, M. A., & Alvarez, C. R. (2008). Root abundance of maize in conventionally-tilled and zero-tilled soils of Argentina. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 32(2), 769-779. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000200031>
- Taboada, M. A., Lavado, R. S., & Camilión, M. C. (1988). Cambios volumétricos en un natracuol típico. *Ciencia del Suelo*, 6(2), 151-157.
- Taboada, M. A., Lavado, R. S., Rubio, G., & Cosentino, D. J. (2001). Soil volumetric changes in natric soils caused by air entrapment following seasonal ponding and water table rises. *Geoderma*, 101(3-4), 49-64. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00089-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00089-6)
- Tavakkoli, E., Uddin, S., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2022). Field applications of gypsum reduce pH and improve soil C in highly alkaline soils in southern Australia ' s dryland cropping region. *Soil Use and Management*, 38(January 2021), 466-477. <https://doi.org/10.1111/sum.12756>
- Yang, J., Blanchar, R. W., Hammer, R. D., & Thompson, A. L. (1996). Soybean Growth and Rhizosphere pH as Influenced by A Horizon Thickness. *Soil Science Society of America Journal*, 60(6), 1901-1907. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000060040x>