



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

RESULTADOS PRELIMINARES DEL EFECTO DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD DEL SUELO SOBRE LA PRODUCCION DE SOJA

Gentili N.¹, J.C. Pietrantonio², M. Alladio², M. B. Conde³, L. Magnano⁴, M. Murgio⁵, P. Andrada⁶, M.B. Aimetta³.

¹ Agencia de Extensión Rural Corral de Bustos, INTA Marcos Juárez, Calle Córdoba 1405 C.P. (2645), Corral de Bustos-Córdoba

² Agencia de Extensión Rural Bell Ville, INTA Marcos Juárez, Ruta Nac. N° 9 Km km 503 C.P. (2550), Bell Ville-Córdoba

³ Estación Experimental Agropecuaria INTA Marcos Juárez, Ruta Prov. N° 12 Km 36 CC 21 Marcos Juárez-Córdoba.

⁴ Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros, Ruta Nac. N° 11 Km 353 C.P. (2206), Oliveros-Santa Fe.

⁵ Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi, Ruta Nac. N° 9 Km 636 C.P. (5988), Manfredi-Córdoba.

⁶ Asesor privado MP 2817, Tucumán 272 C.P. (2566), San Marcos-Córdoba.

Autor de contacto: aimetta.bethania@inta.gov.ar

RESUMEN:

Los suelos sódicos se caracterizan por presentar alta variabilidad en la productividad de soja a nivel de lote. Estas características dificultan las decisiones de manejo en función del ambiente. Sin embargo, hay poca información sobre la variabilidad del rendimiento entre manchones de alto y baja salinidad-sodicidad. El objetivo es predecir el rendimiento del cultivo de soja en función del pH, conductividad eléctrica (Ce) de suelo y valores de Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) con imágenes satelitales. El experimento se realizó a escala de lote sobre un suelo sódico, ubicado al oeste de la región núcleo sojera Argentina. Se estableció un diseño factorial estratificando un lote de soja por índices de vegetación derivados de satélite en zonas de alta y baja producción. En los límites entre manchones de alta y baja productividad se dispusieron de a tres las unidades experimentales, ordenadas en dirección perpendicular al mismo y distanciadas un metro entre sí, conformando un gradiente de productividad. Se midió pH y Ce de suelo a 0-20 cm de profundidad y rendimiento de soja. A pesar de que CE estuvo por debajo de umbrales que afecten el rendimiento, se encontró una relación no lineal negativa entre rendimiento y CE, sugiriendo que podría utilizarse dicha relación como un indicador de las variaciones del suelo para explicar los rendimientos a nivel de lote. Dada la magnitud de la caída del rendimiento afuera de los manchones de alta productividad, el ajuste del manejo del cultivo debería focalizarse sobre los mismos.

PALABRAS CLAVE: Manchones, Conductividad eléctrica, pH

INTRODUCCION:

A nivel mundial la superficie con suelos halo-hidromórficos es de entre 900-1000 millones de hectáreas, donde Argentina constituye el tercer país con mayor superficie afectada por sales y sodio luego de Rusia y Australia (Szalbolcs, 1979). Además, la Región Pampeana húmeda tiene alrededor de 19 millones de hectáreas con diferentes niveles de halo-hidromorfismo (J. Gorgas & Bustos, 2008). El departamento Unión, al este de Córdoba, presenta un 21 y 23% de la superficie con problemas de salinidad y alcalinidad, respectivamente (Jarsún et al., 2003).

En el oeste de la región núcleo sojera Argentina, este tipo de suelos se distribuyen de manera irregular en el terreno, afectando a los cultivos sensibles implantados que se desarrollan en forma de manchones con diferente altura. La propiedad distintiva y dominante de los suelos



salinos es la alta concentración de electrolitos en el extracto de saturación ($>4 \text{ dS m}^{-1}$), mientras que de los suelos sódicos es la alta relación de adsorción de sodio (RAS) de su solución y el elevado porcentaje de sodio intercambiable (PSI) ($>15\%$) y pH superior a 8,5 (Allison et al., 1970).

Numerosos estudios afirman que la acumulación de sales y sodio ya sea en superficie o en la zona de las raíces, causa disminución en la fertilidad y cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo (Adcock et al., 2007; Gill, 2010; Lavado, 2010). Esto impacta negativamente en muchas de las funciones del suelo como la infiltración y la capacidad de almacenaje de agua, restringe procesos del suelo, incluidos nitrificación, desnitrificación y descomposición de residuos debido a la disminución de la actividad biológica y la biodiversidad del suelo (Navarro Blaya and Navarro García 2003).

Por otro lado, es ampliamente conocido que la utilización de sensores remotos para analizar la cobertura del suelo es una técnica que permite la zonificación y el manejo por ambiente de lotes, así como también posibilita estimar el rendimiento de los cultivos (Bastiaanssen & Ali, 2003; De Lara, 2011). Por lo cual su aplicación resulta muy efectiva en ambientes con suelos manchoneados o con variabilidad en el crecimiento de los cultivos implantados.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad en el rendimiento del cultivo de soja en respuesta a la heterogeneidad de las propiedades químicas de un suelo con elevado contenido de sodio intercambiable característico del este de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS:

El experimento se realizó en un establecimiento agrícola de la localidad de San Marcos ($32^{\circ}35'36.58''\text{S}$, $62^{\circ}28'4.33''\text{O}$), departamento Unión. La localidad de San Marcos Sud posee temperatura media anual de $17,05^{\circ} \text{C}$ y régimen de precipitaciones de 793 mm anuales (INTA, 1979).

Dicho establecimiento presenta tres complejos de suelos, Co 5, Co 9 y Co 10 de la Hoja 3363-11 Leones con una capacidad de uso IVws, el Co 9, y VIws los dos restantes (INTA, 1979).

Se estableció un diseño factorial estratificando un lote de soja, con índices de vegetación (NDVI) derivados de satélite Sentinel 2, en zonas de mayor y menor producción. En los límites entre manchones de alta y baja productividad se dispusieron de a tres las unidades experimentales, ordenadas en dirección perpendicular al mismo y distanciadas un metro entre sí, conformando un gradiente de productividad, replicado 12 veces. Cada punto de muestreo quedó georreferenciado tomando sus coordenadas x e y. Se midió pH y Ce de suelo a 0-20 cm de profundidad y rendimiento de soja. La variedad de soja fue 50i17 STS, sembrada el 22 de noviembre de 2022 con una distancia entre surcos de 35 cm y cosechada el 16 de mayo de 2023.

Se utilizaron imágenes satelitales de diferentes fechas (7/12/2021, 29/1/22, 18/2/22, 15/3/22 y 1/4/23), se calculó el NDVI de cada una y con R (R Core Team, 2022) se extrajo el valor del índice para cada fecha en cada punto de muestreo de suelo georreferenciado.

En cada unidad experimental, a R8 se cosechó manualmente un metro lineal de plantas, que luego de ser trilladas se determinó el rendimiento (kg ha^{-1}). Además, se extrajo muestras de suelo de los primeros 20 cm. Las mismas fueron secadas a temperatura ambiente durante 3 días, luego molidas y tamizadas por 2 mm para las determinaciones de pH y Ce. Se estimó el pH a través del método potenciométrico en una relación 1:2,5 (Thomas, 1996), Ce en una relación suelo: agua 1:2,5 (Rhoades, 1996).

Análisis estadístico:

La base de datos contaba con 9 variables (pH, Ce, valores de NDVI y Coordenadas x e y). Para determinar cuáles eran las variables que mejor explicaban el rendimiento se utilizó el método de selección de variables paso a paso. Luego se modeló la relación existente entre el rendimiento y la variable seleccionada a través de análisis de regresión. Se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSION:

La Ce fue la variable que mejor explicó las variaciones del rendimiento de soja a nivel de lote. La misma se relacionó con el rendimiento de manera no lineal ($\hat{y}_i = e^{4,4381, -1,205 \ln(x_0)}$), donde incrementos de la Ce de 0,1 a 0,2 dS m⁻¹ producen disminuciones del 57% en el rendimiento. Un suelo se considera ligeramente salino cuando la Ce en el extracto de saturación supera el valor de 2 dS m⁻¹ (Porta et al., 1999) y constituye el valor umbral de tolerancia para el cultivo de soja (Katerji et al., 2003). En suelos de textura fina éste límite se aproxima al valor de 0,5 dS m⁻¹ medido en solución 1:2,5 (Sbaraglia & Lucci, 1994). A pesar de que en todos los puntos medidos, los valores de salinidad se encontraban por debajo de este umbral, la regresión tuvo un buen ajuste (R² de 0,78) (Figura 1). Por lo cual, se considera factible estimar cambios en rendimiento de soja en función de este parámetro a nivel de lote en un suelo sódico. Resultados similares fueron obtenidos por (Aimetta et al., 2017) en un relevamiento sobre soja en suelos con las mismas características, donde los rendimientos ajustaron mejor con la Ce del suelo en comparación con los valores e pH.

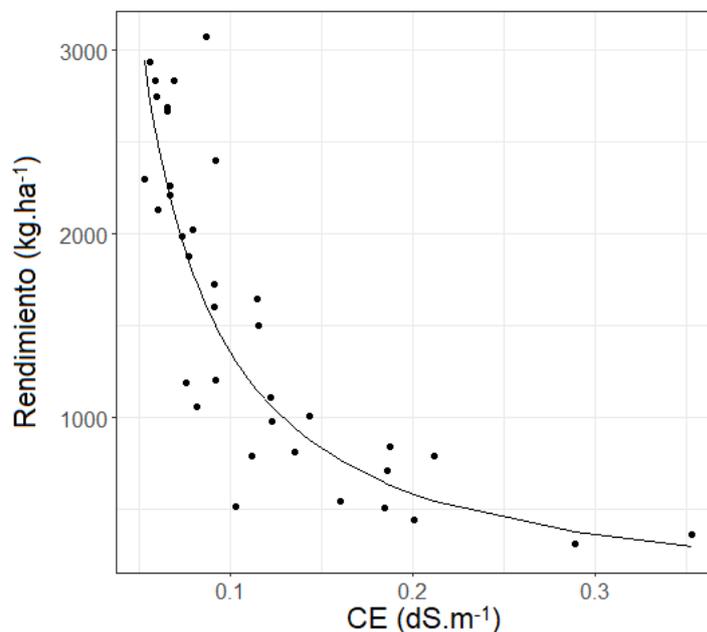


Figura 1: Regresión entre el rendimiento en granos y los valores de Ce del suelo.

El cultivo de soja es una especie moderadamente sensible a la salinidad (Katerji et al., 2003; Mass & Offman, 1977), aunque existe una gran variabilidad en la respuesta al estrés debido a las diferencias genotípicas (Abel & MacKenzie, 1964a; Katerji et al., 2000, 2003; Velagaleti & Schweitzer, 1993). Los antecedentes existentes demuestran que, en suelos con elevado contenido de sodio en el complejo de intercambio, el drenaje y el almacenamiento de agua son limitados y afectan el intercambio gaseoso y la respiración radical. Estas capas densas de suelo reducen el rendimiento potencial de los cultivos por limitar la provisión de agua, oxígeno y nutrientes (Rengasamy et al., 2003).

En el límite entre manchones de alta y baja productividad, el rendimiento de soja presentó un pronunciado gradiente asociado a cambios en la Ce. Por ejemplo, en menos de dos metros el rendimiento se redujo en más del 70%. De este modo, la Ce refleja los cambios en el rendimiento del cultivo producto de la heterogeneidad de las condiciones de crecimiento radicular que presentan estos suelos.

CONCLUSIONES:

La relación entre los valores de Ce y el rendimiento de soja, incluso con bajos niveles de salinidad superficial, sugieren que podría utilizarse como un buen indicador de las variaciones de rendimiento, producto de cambios en la sodicidad del suelo a nivel de lote. Si bien esta variable no es la única responsable del comportamiento del cultivo es de fácil determinación y bajo costo. Los resultados nos permiten concluir en función de la magnitud de la caída del rendimiento en tan corta distancia entre los manchones de alta y baja productividad, que el ajuste del manejo del cultivo de soja debería focalizarse sobre los manchones de mayor producción.

Este trabajo forma parte de una base de datos que se amplía campaña tras campaña con el objetivo de generar ecuaciones para la predicción de rendimientos de soja en función de los parámetros de suelo.

BIBLIOGRAFIA:

- Abel, G. H., & MacKenzie, A. J. (1964a). Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* L. Merrill) during germination and later growth. *Crop Science*, 4(2), 157-161. <https://doi.org/10.2135/cropsci1964.0011183x000400020010x>
- Abel, G. H., & MacKenzie, A. J. (1964b). Salt Tolerance of Soybean Varieties (*Glycine max* L. Merrill) During Germination and Later Growth1. *Crop Science*, 4(2), 157. <https://doi.org/10.2135/cropsci1964.0011183X000400020010x>
- 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>
- Aimetta, M. B., Villarruel, D., Murgio, M., Carrio, A., Muñoz, S., Cazorla, C., Pietrantonio, J., Conde, M. B., Galarza, C., & Baigorria, T. (2017). Efecto de la variabilidad de suelos manchoneados sobre el crecimiento y producción del cultivo de soja. *Soja actualización 2017 Informe de actualización técnica n° 9*, 73-80.
- Allison, L., Brown, J., Hayward, H., Richards, L., Bernstein, L., Fireman, M., Pearson, G., Wilcox, L., Bower, C., Hatcher, J., & Reeve, R. (1970). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos* (L. A. Richards, Ed.; 5.ª ed.). Centro Regional de Ayuda Técnica, AID.
- Bastiaanssen, W. G. M., & Ali, S. (2003). A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Ecosystems and Environment*, 94, 321-340.
- De Lara, A. (2011). *Estimación de rendimiento de soja a través de imágenes modis* [Trabajo final presentado para la especialización en teledetección y sistemas de información geográfica aplicados al estudio de los recursos naturales y la producción agropecuaria]. Escuela para graduados Ing. Agr. Alberto Soriano, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Gill, H. (2010). Effects of soil sodicity on the germination, growth and productivity of Soybean (*Glycine max*). *19th World Congress of Soil Science*. <http://iuss.org/19thWCSS/Symposium/pdf/0579.pdf>
- Giménez, L. (2014). Efecto de las deficiencias hídricas en diferentes etapas de desarrollo sobre el rendimiento de soja. *Agrociencia Uruguay*, 18(1), 53-64.
- Gorgas, J., & Bustos, M. (2008). Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba con problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad. En E. Taleisnik, K. Grunberg, & G. Santa María (Eds.), *La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria* (pp. 47-62).
- INTA. (1979). *Carta de suelos de la República Argentina Hoja 3363-11 Leones*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro de investigación de Recursos Naturales.

- Jarsún, B., Gorgas, J. A., Zamora, E., Bosnero, H., Lovera, E., Ravelo, A., & Tassile, J. L. (2003). *Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los suelos* (J. A. Gorgas & J. L. Tassile, Eds.). Agencia Córdoba Ambiente S. E., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi.
- Katerji, N., Van Hoorn, J. W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M. (2000). Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*, 43(1), 99-109. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00048-7)
- Katerji, N., Van Hoorn, J. W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M. (2003). Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*, 62(1), 37-66. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00005-2)
- Lavado, R. S. (2010). Salinidad y alcalinidad: propiedades, efectos sobre los cultivos y manejo. En R. Álvarez, G. Rubio, C. R. Álvarez, & R. S. Lavado (Eds.), *Fertilidad de suelos caracterización y manejo en la región pampeana* (pp. 21-44). Editorial facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Mass, E. V., & Offman, G. J. (1977). Crop salt tolerance\current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 2(103), 19.
- Navarro Blaya, S., & Navarro García, G. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Mundi-Prensa. https://books.google.com.ar/books/about/Química_agrícola.html?id=HufLwjgjrWC
- Porta, C. J., López-Acevedo, M., & Roquero de Laburu, C. (1999). *Edafología, para la agricultura y el medio ambiente* (2.^a ed.). Mundi-Prensa.
- R Core Team. (2022). *R: The R Project for Statistical Computing*. R foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rengasamy, P., Chittleborough, D., & Helyar, K. (2003). Root-zone constraints and plant-based solutions for dryland salinity. *Plant and Soil*, 257(2), 249-260. <https://doi.org/10.1023/A:1027326424022>
- Rhoades, D. J. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. En D. L. Sparks & J. M. Bartels (Eds.), *Methods of soil analysis part 3 Chemical methods* (pp. 417-435). ASA - SSSA.
- Sbaraglia, M., & Lucci, E. (1994). Salinita' e sodicita'. En M. Sbaraglia & E. Lucci (Eds.), *Guida all'interpretazione dell'analisi del terreno ed alla fertilizzazione*. Studio Pedon (pp. 75-90).
- Szalbolcs, I. (1979). *Review of research on salt-affected soils*.
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and Soil Acidity. En D. L. Sparks & J. M. Bartels (Eds.), *Methods of soil analysis part 3 Chemical methods* (pp. 475-490). ASA - SSSA.
- Velagaleti, R., & Schweitzer, S. M. (1993). General effects of salt stress on growth and symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Plant and Crop Stress*, 461-471.