



Efecto de la variabilidad de suelos manchoneados sobre el crecimiento y producción del cultivo de soja

Aimetta, María Bethania¹; Villarruel, Domingo¹; Murgio, Marcos²; Carrio, Alejandro¹; Muñoz, Sebastián¹; Cazorla, Cristian¹; Pietrantonio, Julio³; Conde, María Belén¹; Galarza, Carlos¹; Baigorria, Tomás¹.

¹ INTA Marcos Juárez-Córdoba.

² INTA Manfredi

³ AER INTA Bell Ville

aimetta.bethania@inta.gob.ar

PALABRAS CLAVE: Suelo sódico, conductividad eléctrica, pH

Resumen

En un complejo de suelos donde existe gran variabilidad en pH y conductividad eléctrica (Ce) se manifiestan diferencias en el crecimiento de soja, afectando el rendimiento. El objetivo del trabajo fue evaluar la variabilidad en el rendimiento del cultivo de soja en respuesta a la heterogeneidad de las propiedades químicas de un suelo “manchoneado” con elevado contenido de sodio intercambiable. El experimento se realizó en la localidad de San Marcos Sud, departamento Unión, sobre complejo de suelos, capacidad de uso VIws con 50% de suelos salino-sódicos. En un lote de soja (Syngenta SPS 4x4) se seleccionaron por mayor altura del cultivo seis zonas o manchones y dentro de cada una tres sectores: Alta Productividad (AP), Media Productividad (MP) y Baja Productividad (BP). En cada sitio se realizó la cosecha de un metro lineal de plantas en R8 y se determinó el rendimiento y sus componentes. En suelo se determinó la profundidad, pH y Ce de los dos primeros horizontes (H1 y H2). El rendimiento, y sus componentes fueron superiores en AP con respecto a MP y BP. El sector AP presentó siempre los menores valores de pH y Ce los cuales se correlacionaron alta y significativamente con los componentes del rendimiento. Además se detectaron altos coeficientes de determinación entre el rendimiento y las variables de suelo del segundo horizonte (H2). Tanto el pH como la Ce de H2 fueron variables de alta importancia en la determinación de los rendimientos observados. Si bien estas variables no son las únicas responsables de este comportamiento son de fácil determinación y bajo costo para ser utilizadas como indicadores de posibles niveles de producción de soja. En un futuro sería necesario ampliar la base de información para desarrollar ecuaciones de predicción de los rendimientos.

Introducción

Los suelos con exceso de sodio en el complejo de intercambio se encuentran distribuidos en todo el mundo con una superficie de 434 Mha, afectando de manera variable a los cultivos (FAO, 2015). En la provincia de Córdoba el 17% de la superficie relevada presenta elevados contenidos de sodio ya sea en superficie o en profundidad (Gorgas & Tassile, 2003). El departamento Unión, al este de Córdoba, presenta un 21 y 23 % de la superficie con problemas de salinidad y alcalinidad, respectivamente (Gorgas & Tassile, 2003). En el este de la provincia de Córdoba, estos suelos se distribuyen de manera irregular en el ambiente, lo que se observa como manchones en un cultivo sensible implantado.

Los suelos sódicos acumulan Na^+ en el complejo de cambio y afectan la estructura del suelo. El Na^+ se une a los coloides del suelo produciendo un hinchamiento de las arcillas debilitando las uniones y dispersando las partículas. Esta dispersión bloquea el sistema poroso, reduce la infiltración y la capacidad de almacenamiento, genera anegamientos y afecta el movimiento de agua y aire (Adcock *et al.*, 2007; Gill, 2010; Lavado, 2010). La falta de oxígeno en el sistema produce asfixia de las raíces, afecta la nutrición vegetal, disminuye la actividad microbiana e incrementa los procesos reductores y la producción de nitrógeno gaseoso (N_2), sulfuros y formas reducidas de hierro y manganeso (Navarro Blaya & Navarro García, 2003). El elevado contenido Na^+ presente en el suelo también afecta directamente a los cultivos por ser absorbido y acumulado en los tejidos vegetales interfiriendo en el metabolismo celular y en el transporte de elementos por la relación Na^+/K^+ generando efectos tóxicos (Navarro Blaya & Navarro García, 2003; Munns & Tester, 2008). 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 “manchoneado” con elevado contenido de sodio intercambiable característico del este de Córdoba.

Materiales y métodos

Descripción del ensayo y diseño experimental:

El experimento se realizó en un establecimiento agrícola de la localidad de San Marcos (32.616346° S, 62.441489° W con 115 msnm), departamento Unión. La localidad de San Marcos Sud posee temperatura media anual de 17,05° C y régimen de precipitaciones de 793 mm anuales (INTA, 1979). Dicho establecimiento presenta un complejo de suelos, (Co 10) de la Hoja 3363-11 Leones con una capacidad de uso VIws. El 5% de la unidad son suelos de la serie Marcos Juárez en fase moderadamente bien drenada, el 45% suelos de la serie El Chajá y el 50% restante suelos alcalino-sódicos de las series Achalay 40% y Villa Francisca 10% (INTA, 1979).

El experimento realizado fue de tipo observacional en un lote de soja seleccionando zonas de diferente productividad y manchoneado (característica visual que se detecta en el tamaño y color de los cultivos desde etapas vegetativas en este tipo de suelos). Cada zona está constituida por un manchón donde el crecimiento vegetal presentó una altura superior respecto a la periferia, determinada de manera visual y replicada seis veces. Dentro de cada zona se seleccionaron tres sectores de Alta Productividad (AP), Media productividad (MP) y Baja productividad (BP) separadas por una distancia de un metro entre ellos a fin establecer una separación mínima de cada sector. Para la selección se utilizó como parámetro de clasificación la altura de plantas y la cobertura del suelo del cultivo de soja en estado de R8. La variedad de soja en todo el lote fue SPS 4x4 sembrada el 16 de Octubre de 2015 con una distancia entre surcos de 35 cm y cosechada el 7 de Marzo de 2016.

Como caracterización inicial a nivel predial se realizaron mediciones de los parámetros químicos en suelo y se obtuvieron niveles de PSI por encima del 25% y pH superior a 7,6 en la profundidad 0-20 cm. Por lo cual se pudo comprobar a nivel predial y sectorial los datos de la clasificación de suelos a escala 1:50000.

Recolección y acondicionamiento de las muestras:

En cada sitio se realizó la cosecha de forma manual de un metro lineal de plantas de soja en el estado de R8 que luego de ser trilladas se determinó el rendimiento y sus componentes. En el mismo sector donde se cosecharon las plantas se determinó la profundidad de los dos primeros horizontes que pudieron ser diferenciados visualmente por color, dureza y estructura, y se extrajo con pala una muestra de cada uno de ellos. Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente durante 3 días, luego molidas y tamizadas por 2mm para las determinaciones de pH y Ce.

Determinaciones:

En soja se determinó el número de granos, el peso medio del grano y se calculó el rendimiento por superficie (kg ha^{-1}) y el índice de cosecha. En suelo se midió la profundidad

de dos primeros horizontes diferenciados del perfil y en las muestras se determinó el pH de cada uno a través del método potenciométrico en una relación 1:2,5 (Thomas, 1996) y conductividad eléctrica (Ce) en una relación suelo:agua 1:2,5 (Rhoades, 1996).

Análisis estadístico:

Se realizó ANAVA entre los diferentes sectores de productividad y se realizaron análisis de correlación y regresiones para observar relaciones entre variables. Se utilizó el software estadístico Infostat (Di-Rienzo *et al.*, 2017).

Resultados y discusión

La variable altura de plantas fue diferente en los tres sectores ($p < 0,05$) siendo mayores en el sitio de AP, constituyendo un buen indicador para la clasificación del ambiente. En cuanto al número de plantas, si bien el sector de Alta productividad presentó el mayor número ($p < 0,05$) con respecto a Media y Baja, estas últimas no se diferenciaron entre sí.

El rendimiento en grano del cultivo de soja, el sector de AP fue mayor al de MP y BP, los que presentaron un 11 y 33% respecto al valor obtenido en AP (Cuadro 1). El número de granos por superficie en el sector de AP se diferenció del de MP y BP sin diferencias entre estos últimos. Los sectores de MP y BP produjeron el 16 y 41% de los granos fijados en AP (Cuadro 1). Las diferencias en el número de granos demuestran la gran influencia que tienen las características físico-químicas del suelo en la determinación del rendimiento, aunque debido a la gran variabilidad ($CV=35,3$) de los datos no permitieron diferenciar el sector de MP del de BP. El peso medio del grano fue diferente en cada sector, donde MP y BP mostraron un 64 y 73% del peso medio calculado para AP (Cuadro 1).

El grado de sensibilidad de cada componente del rendimiento a los factores ambientales, tanto climáticos como a las condiciones del suelo, varía con el estado de desarrollo del cultivo. Si bien la soja tiene la capacidad de compensar cuando hay disminución en uno de ellos cuando el estrés es demasiado intenso esta capacidad es insuficiente y finalmente el rendimiento decae (Baigorri, 1997).

El índice de cosecha (IC) es un indicador de la porción de materia seca aérea producida que es particionada a los órganos cosechables y es afectado por los factores ambientales en interacción con el genotipo (Morandi *et al.*, 1994). Éste índice mostró grandes diferencias entre los sectores y demuestra que ante condiciones limitantes la biomasa reproductiva disminuye en mayor proporción que la biomasa vegetativa del cultivo, siendo un indicador sensible a las características del suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento, peso medio del grano, número de granos m^{-2} e índice de cosecha (IC) en los sectores Baja (BP), Media (MP) y Alta producción (AP). Letras distintas indican diferencias estadísticas entre sectores ($p < 0,05$).

Sector	Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$)	Número de granos m^{-2}	Peso medio grano (g)	IC
BP	546 A	763.83 A	0.07 A	0.32 A
MP	1674 A	1976.17 A	0.08 B	0.41 AB
AP	5075 B	4837.50 B	0.11 C	0.49 B

Las variables químicas de suelo pH y Ce muestran valores diferentes en función de la productividad de cada sector ($p < 0,05$). Los valores medios obtenidos en pH para los sectores de AP, MP y BP producción fueron de 6,12, 6,95 y 7,34 para el primer horizonte (H1) y de 7,41, 8,63 y 9,11 para el segundo horizonte (H2). Los valores de pH siempre fueron menores en el sector de Alta producción con respecto a MP y BP en ambos horizontes del suelo.

El rango de valores óptimos de pH en suelo es de entre 6 y 7 para lograr una buena producción de la mayoría de los cultivos agrícolas (Azcarate *et al.*, 2012). Los valores medidos en el horizonte superficial se localizan dentro de dicho intervalo, por lo cual no sería un parámetro adecuado para lograr una caracterización de sitios en diferentes niveles de

productividad. Sin embargo, los valores de pH en el segundo horizonte superaron el valor de 7 y se encuentran altamente correlacionados con los valores de H1 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por lo cual, sería factible utilizar como parámetro de predicción el valor de pH en el horizonte subsuperficial de suelo.

En cuanto a salinidad, los valores de Ce en el segundo horizonte fueron de 0,14, 0,52 y 0,66 dS m⁻¹ para los sectores de AP, MP y BP productividad, respectivamente. El valor de 2 dS m⁻¹ es el límite de Ce en el extracto de saturación por encima del cual un suelo se considera ligeramente salino (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, valor superado en MP y BP del H2. La Ce en el primer horizonte de suelo presentó valores por debajo del límite de 0,5 dS m⁻¹ y a pesar de detectar diferencias entre sitios estos valores deben ser interpretados en relación con los del horizonte más profundo con el que están altamente correlacionados (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) debido a que pertenecen al mismo perfil de desarrollo del cultivo. Por lo que sería recomendable la medición de Ce en H2 a fin de realizar una caracterización de sitios en función de la productividad del cultivo de soja.

Cuadro 2: Análisis de correlación entre las variables de pH y Ce en los dos primeros horizontes de suelo.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
Ph H1	Ce H1	18	0.83	<0.0001
Ph H1	Ph H2	17	0.9	<0.0001
Ph H1	Ce H2	17	0.88	<0.0001
Ce H1	Ph H2	17	0.83	<0.0001
Ce H1	Ce H2	17	0.88	<0.0001
Ph H2	Ce H2	17	0.9	<0.0001

Relaciones entre variables:

El pH y la Ce en H2 presentaron correlaciones significativas y negativas con el número y peso medio de granos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), sin embargo, la correlación con el IC fue baja. El cultivo de soja es considerado como una especie moderadamente sensible a la salinidad (Mass *et al.*, 1977; Katerji *et al.*, 2003), aunque existe una gran variabilidad en la respuesta al estrés debido a las diferencias genotípicas (Abel & MacKenzie, 1964; Velagaleti & Schweitzer, 1993; Katerji *et al.*, 2000, 2003). La variedad de grupo de crecimiento cuatro intermedio utilizada en este ensayo produjo la caída de sus componentes de rendimiento cuando la Ce superó el límite de 0.5 dSm⁻¹.

La producción de soja en este ambiente presentó grandes diferencias debidas a la variabilidad espacial observada en pH y Ce. Estos podrían ser indicadores utilizados para predecir el desarrollo del cultivo en suelos de características similares del este de Córdoba al ser metodologías sencillas de realizar y económicas.

Cuadro 3. Análisis de correlación entre el pH y Ce en el segundo horizonte de suelo (H2) y los componentes del rendimiento, IC y altura de plantas de soja.

VARIABLES	pH H2	Ce H2
Número de granos m ⁻²	-0.83***	-0.86***
Peso medio grano (g)	-0.61**	-0.69**
Altura de planta (m)	-0.86***	-0.87***
IC	-0.48*	-0.56*

Los números indican el valor Pearson y los asteriscos (*) el p-valor: (*) 0.05 <p>0.01; (**) p<0.01; (***) p<0.001.

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). Puntualmente, un déficit hídrico durante el periodo crítico del cultivo (R4-R6) pueden producir entre un 40 y 50% de disminución del rendimiento (Giménez, 2014), pudiendo reducir simultáneamente el número de vainas, del número de granos por vaina y el peso de los granos. Por otro lado, el estrés hídrico en etapas vegetativas y reproductivas tempranas pueden producir hasta un 20% (Giménez, 2014) y 10% (Andriani *et al.*, 1991) de disminución del rendimiento. Estos resultados corroboran las afirmaciones de numerosos autores sobre la alta estabilidad de soja entre las etapas de R1 y R3 (Andriani *et al.*, 1991; Andriani, 2001; Andrade & Sadras, 2009; Giménez, 2014). En el análisis de los rendimientos en función del pH y la Ce se tuvo en cuenta los valores del horizonte subsuperficial (H2), en base a la alta correlación entre horizontes analizada anteriormente. En la regresión entre rendimiento y pH de suelo (

Gráfico 1) el coeficiente de determinación (R^2) indica que la variabilidad de los rendimientos se explica en un 67% por el pH en H2. Si bien estos datos corresponden a un primer año de análisis y una variedad determinada, para lograr una predicción del rendimiento en condiciones similares en función de pH sería necesario en el futuro la inclusión de los efectos año, variedad y/o lote. Sin embargo permite conocer que por cada punto de incremento en el pH el rendimiento disminuyó 2013 kg ha⁻¹.

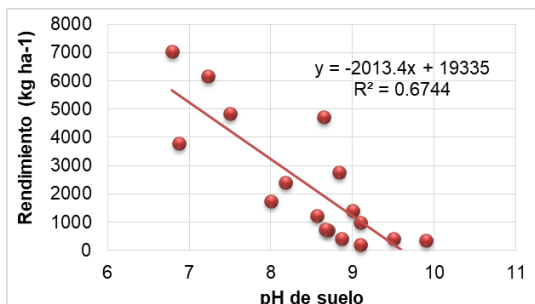


Gráfico 1: Regresión lineal entre Rendimiento (kg ha⁻¹) y el pH de suelo en el segundo horizonte (H2).

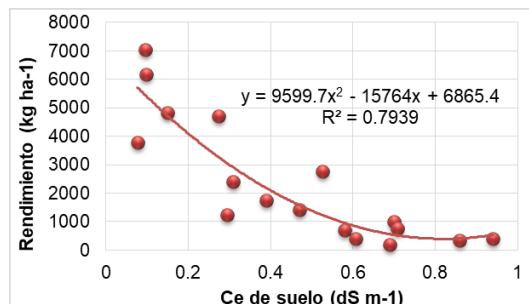


Gráfico 2: Regresión polinómica entre el rendimiento (kg ha⁻¹) y la Ce de suelo en el segundo horizonte (H2).

La regresión entre rendimiento y Ce de suelo mostró un mejor ajuste que con pH (Gráfico 2), donde el rendimiento estuvo determinado en un 80% por la Ce, ajuste que permitiría realizar una predicción del rendimiento, en situaciones similares de cultivo, con mediciones de Ce del lote. Además, de la ecuación se desprende que cuando la Ce en el segundo horizonte de suelo alcanza el valor de 0.82 dSm⁻¹ los rendimientos alcanzan el mínimo valor (394 kg ha⁻¹). Sin embargo, sería importante en el futuro la ampliación de la base de datos para una buena predicción de los rendimientos de soja en estos ambientes.

Conclusión

Tanto el pH como la Ce del horizonte 2 fueron variables de alta importancia en la determinación de los rendimientos observados. Si bien estas variables no son las únicas responsables de este comportamiento son de fácil determinación y baja costo para ser utilizadas como indicadores de posibles niveles de producción de soja. En un futuro sería necesario ampliar la base de información con diferentes variedades de soja y ambientes que permitan generar ecuaciones para la predicción de rendimientos de soja en función de los parámetros de suelo.

Bibliografía

- Abel,GH & AJ MacKenzie. 1964. Salt Tolerance of Soybean Varieties (*Glycine max* L. Merrill) During Germination and Later Growth1. *Crop Sci.* 4: 157.
- Adcock,D; AM McNeill; GK McDonald; RD Armstrong; CR Beverly; M Lindsay; ES Lagudah; DP Schachtman & R Hare. 2007. Subsoil constraints to crop production on neutral and alkaline soils in south-eastern Australia: a review of current knowledge and management strategies. *Aust. J. Exp. Agric.* 47: 1245.
- Andrade,FH & VO Sadras. 2009. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. In: Andrade FH; & VO Sadras, (eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Balcarce, Pp 127–152.
- Andriani,JM. 2001. Consumo de agua de los cultivos en el sur de Santa Fe. *Soja Campaña 2000/01 Para Mejor:* 31–33.
- Andriani,JM; FH Andrade; EE Suero & JL Dardanelli. 1991. Water Deficits During Reproductive Growth of Soybeans .1. Their Effects on Dry-Matter Accumulation, Seed Yield and Its Components. *Agronomie* 11: 737–746.
- Azcarate,P; N Kloster & G Perez Habiaga. 2012. Reacción del suelo: pH. In: Quiroga A; & A Bono, (eds.). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Anguil, Pp 19–25.
- Baigorri,HEJ. 1997. Ecofisiología del cultivo. In: Giorda L; & HEJ Baigorri, (eds.). El cultivo de la soja en Argentina. Editar: Córdoba, Argentina, Pp 29–50.
- Di-Rienzo,JA; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & C Robledo. 2017. Infostat -

- Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. *Univ. Nac. Córdoba, Argentina*.
- FAO. 2015. FAOSTAT: Statistical database online, Subset Crop production and harvested area [Online].
- Gill,H. 2010. Effects of soil sodicity on the germination , growth and productivity of Soybean (*Glycine max*). : 88–91.
- Giménez,L. 2014. Efecto de las deficiencias hídricas en diferentes etapas de desarrollo sobre el rendimiento de soja. *Agrociencia Uruguay* 18: 53–64.
- Gorgas,JA & JL Tassile. 2003. Recursos naturales de la provincia de cordoba Los suelos In: JA Gorgas & JL Tassile (eds.). Agencia Córdoba Ambiente S. E., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi: Córdoba, Argentina.
- INTA. 1979. Carta de suelos de la República Argentina Hoja 3363-11 Leones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro de Investigación de Recursos Naturales.
- Katerji,N; JW Van Hoorn; A Hamdy & M Mastrorilli. 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agric. Water Manag.* 43: 99–109.
- Katerji,N; JW Van Hoorn; a. Hamdy & M Mastrorilli. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agric. Water Manag.* 62: 37–66.
- Lavado,RS. 2010. Salinidad y alcalinidad: propiedades, efectos sobre los cultivos y manejo. In: Álvarez R; G Rubio; CR Álvarez; & RS Lavado, (eds.). Fertilidad de suelos caracterización y manejo en la region pampeana. Editorial facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires: Buenos Aires, Pp 21–44.
- Mass,E V; GJ Offman & M Asce. 1977. Crop salt tolerance\current assessment. *J. Irrig. Drain. Div.* 2: 19.
- Morandi,EN; ML Bodrero; RA Martignone & A Quijano. 1994. Sowing date and irrigation effects on soybean dry matter partitioning and yield in the southern Santa Fe area of Argentina. In: Proceedings of the World Soybean Research Conference V. Chiang Mai, Thailand, Pp 128.
- Munns,R & M Tester. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance.
- Navarro Blaya,S & G Navarro García. 2003. Química agrícola : el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Mundi-Prensa.
- Porta,CJ; M López-Acevedo & C Roquero de Laburu. 1999. Edafología, para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa: Madrid, España.
- Rengasamy,P; D Chittleborough & K Helyar. 2003. Root-zone constraints and plant-based solutions for dryland salinity. *Plant Soil* 257: 249–260.
- Rhoades,DJ. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks DL; & JM Bartels, (eds.). Methods of soil analysis part 3 Chemical methods. ASA - SSSA: Madison, Wisconsin, EE.UU, Pp 417–435.
- Thomas,GW. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: Sparks DL; & JM Bartels, (eds.). Methods of soil analysis part 3 Chemical methods. ASA - SSSA: Madison, Wisconsin, EE.UU, Pp 475–490.
- Velagaleti,R & S. Schweitzer. 1993. General effects of salt stress on growth and symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Plant Crop Stress*: 461–471.