

## MANEJO ESTRATÉGICO DE PLANTEOS AGRÍCOLAS EN SUELOS CON LIMITACIONES SÓDICAS<sup>1</sup>

Ing. Agr. MSc. Rodolfo C. Gil<sup>2</sup>  
Ing. Agr. Guillermo E. Peralta<sup>3</sup>

La región pampeana de Argentina cuenta con más de 10 millones de has. clasificadas como suelos sódicos.<sup>1,2</sup>

El avance de la agricultura ha generado que **suelos sódicos** antes destinados al uso ganadero sean incorporados a la producción de granos. Los cambios empresariales y estructurales aparejados a estos procesos muchas veces dificultan la re-introducción de la actividad ganadera o mixta sobre estos suelos, por lo que los planteos productivos actuales se limitan a rotaciones agrícolas, incluso al monocultivo. Sin embargo, los rendimientos de los cultivos agrícolas en este tipo de ambientes presentan una marcada variabilidad interanual, y sus rendimientos generalmente resultan inferiores (hasta menos del 50%), que en suelos de mejor aptitud.

La elección de los cultivos y sus rotaciones debería entonces considerar las características funcionales de estos ambientes, a partir de las cuales desarrollar y adaptar estrategias específicas de planificación y manejo integral de suelos y cultivos, orientadas fundamentalmente a aumentar la eficiencia de uso de los recursos naturales disponibles, para incrementar y estabilizar la producción agrícola.

El punto de partida para el diseño de tales estrategias es una detallada caracterización del ambiente productivo para entender cómo es el “funcionamiento” de los ambientes en estudio y cómo pueden impactar las limitantes sobre los rendimientos de los cultivos.

Los efectos más notorios del sodio en estos ambientes parecen estar relacionados a su impacto sobre la “dinámica del agua” en el suelo. Como es sabido, el sodio ocasiona la dispersión de las partículas de arcilla y materia orgánica, disminuye la estabilidad y tamaño de los agregados y poros<sup>3</sup>, y afecta la movilidad de agua en las capas afectadas<sup>4,5</sup>. Al mismo tiempo es común observar un escaso desarrollo de raíces afectando la profundidad efectiva del suelo. Por lo tanto el agua termina siendo directa e indirectamente, el factor que más incide en este tipo de ambientes.

El impacto del sodio en el suelo y su persistencia dependerá de múltiples factores<sup>6</sup> como el relieve, su drenaje determinado por la presencia de horizontes arcillosos, influencia de napas freáticas, del tipo y concentración de sales sódicas predominantes, y de la profundidad a la cual se encuentran. Por lo tanto en primer lugar se requiere una precisa caracterización del grado y distribución de la problemática a escala localizada.

Por otra parte, el grado y efecto de estas limitantes edáficas sobre los cultivos dependerán de su interacción con el componente climático local. Por ejemplo, condiciones de baja demanda ambiental y alta pluviometría pueden enmascarar los efectos negativos del sodio, mientras que condiciones de alta demanda pueden potenciarlos, especialmente durante las etapas críticas del cultivo. En este sentido, existen herramientas de análisis y simulación agronómica de complejidad variable, que permiten integrar la información climática histórica con la información edáfica, y prever el posible efecto de determinadas estrategias sobre el comportamiento de los cultivos (relación clima-suelo-cultivo). La finalidad es poder estimar probabilidades (de obtención de rendimientos, de ocurrencia de déficit hídrico, etc.) que

---

<sup>1</sup> JORNADA MANEJO DE SUELOS SALINO - SÓDICOS EN ÁREAS DE SECANO. Org.: PROSA,- FECIC – CIRN - INTA. 7 de Mayo de 2013.

<sup>2</sup> Instituto de Suelos INTA Castelar

<sup>3</sup> Programa Chacras. Convenio INTA-AAPRESID

orienten la toma de decisiones. Con análisis sencillos, es posible calcular la probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico, por ejemplo para cultivos estivales a lo largo de la estación de crecimiento, integrando el análisis de las lluvias y evapotranspiración diarias de una serie climática histórica, con la capacidad de almacenaje del suelo y su profundidad efectiva de enraizamiento, y la capacidad de ceder agua del suelo sin que el cultivo experimente estrés. La presencia de sales si bien no afecta la capacidad de almacenaje del suelo, aumenta el límite mínimo de extracción de agua (o punto de marchitamiento), disminuyendo así la cantidad de agua disponible para las plantas.

Este análisis puede ser complementado con otros datos climáticos (como la Temperatura, la Radiación incidente y el Déficit de presión de vapor) para determinar “ventanas óptimas” y “ventanas de riesgo” dentro de la estación de crecimiento de los cultivos. La sincronización de la fenología de los cultivos con períodos del año en los cuales la oferta de recursos y las condiciones ambientales resultan más favorables constituye una de las principales estrategias para estabilizar los rendimientos en distintos ambientes productivos, sobre todo en aquellos con limitantes. La identificación de estas ventanas contribuirá (además de prácticas de sistematización hidrológica y enmiendas), al diseño de secuencias de cultivos más eficientes y estrategias de manejo mejor ajustadas como por ejemplo la fecha de siembra y la elección de los ciclos de madurez.

Las secuencias de cultivos deberían apuntar a maximizar la eficiencia de uso del agua, aumentando las lluvias efectivas a través de una mejora gradual en las condiciones físicas del suelo y ubicando los períodos críticos en épocas de mejor oferta y menor demanda ambiental.

El estado físico de los suelos es uno de los más afectados por la presencia de sodio. En ese sentido, los beneficios de la materia orgánica y carbono (C) sobre las propiedades físicas de los suelos han sido detallados por diversos autores<sup>7</sup>. Existen relaciones directas entre la cantidad de residuo vegetal aportado anualmente al suelo y el cambio en el nivel de carbono orgánico del suelo<sup>43,44</sup>. En los sistemas agrícolas, los residuos de cosecha (rastrajo y raíces) constituyen el principal aporte de carbono orgánico al suelo, por lo que los planteos de rotaciones deberían apuntar a maximizar los aportes de materia seca en estos ambientes. La inclusión de un mayor porcentaje de gramíneas como maíz, sorgo y trigo en la rotación genera mayores aportes de carbono y balances más favorables de MO, como se evidencia en ensayos de larga duración y estimaciones en distintas regiones y ambientes de nuestro país<sup>8,9</sup>.

La rotación de leguminosas con gramíneas favorece los mecanismos biológicos de agregación. En los últimos años se ha estudiado que la combinación en rotaciones de leguminosas con abundantes contenidos de polisacáridos y de gramíneas como el maíz, ricas en polifenoles, parecería proporcionar condiciones adecuadas para la formación de macroagregados en los horizontes superficiales del suelo<sup>52,53</sup>. Se han observado efectos positivos de rotaciones con maíz o sorgo sobre la estructuración y estabilidad de agregados del suelo<sup>10,11</sup>, con respecto a rotaciones con mayor predominio de soja o monocultivo.

Esta mejora en las propiedades físicas se traduce en mayor infiltración y menores pérdidas por escurrimiento<sup>12</sup>. Las mejoras en la infiltración pueden atribuirse también al incremento en la macroporosidad generado por el sistema radicular fibroso cercano a la superficie y de mayor biomasa de los cultivos de gramíneas como el maíz o el sorgo<sup>14</sup>. Además, la composición de la materia seca aportada por las gramíneas (mayor relación C:N que cultivos como soja)<sup>15</sup> permite una mayor duración del rastrojo. Un alto contenido de rastrojos en superficie disminuye las pérdidas por escurrimiento y evaporación directa desde el suelo<sup>16,17</sup>. En siembra directa, altas proporciones de rastrojos de maíz y trigo disminuirían en hasta un 70% la evaporación directa en suelos del norte de Bs AS y Sur de Córdoba<sup>18,19</sup>. En resumen, una mayor intensidad de cultivos al año y mayor diversificación de las rotaciones sobre los suelos sódicos permitiría mayores aportes de C, con una mejora

gradual en las propiedades físicas del suelo y menores pérdidas de agua, atenuando los efectos negativos del sodio.

En ambientes de secano con alta dependencia de los aportes de lluvias y relativa importancia del agua almacenada (como perfiles de escasa profundidad efectiva), la intensificación con más de un cultivo anual y la disminución de los períodos de barbecho permitiría incrementar la eficiencia en el uso de recursos que se pierden por distintas vías durante los períodos libres de cultivo, como se ha demostrado en otros ambientes<sup>20,21</sup>. A su vez, la alta susceptibilidad al desecamiento de estos suelos, aún con elevados aportes de lluvias, hace que cobre mayor importancia la ubicación del período crítico de los cultivos en épocas del año con condiciones más favorables de oferta-demanda hídrica. En este sentido, sistemas intensificados de doble cultivo anual o de cultivos estivales tardíos con o sin coberturas invernales, podrían presentar ventajas, contribuyendo a estabilizar los rendimientos.

La soja protagonizó fuertemente el avance de la agricultura sobre ambientes salinos sódicos de nuestro país. Los efectos del stress hídrico sobre el cultivo de soja han sido ampliamente estudiados<sup>22,23</sup>. Se sabe que los rendimientos resultan altamente dependientes del número de vainas y granos que se establecen por unidad de superficie,<sup>24,25</sup> por lo que condiciones que optimicen la tasa de crecimiento del cultivo durante el período en que se definen estos componentes ("período crítico", R2 a R6) tenderán a maximizar la producción en este cultivo dominante<sup>26,27</sup>. En este sentido resultaría estratégico ubicar este período crítico R2-R6 en condiciones más favorables de oferta (lluvias+humedad suelo) y demanda hídrica para disminuir la variabilidad productiva. Esto podría lograrse a través de la elección de la fecha de siembra y ciclo del cultivo (grupo de madurez, GM).

La sincronización de la fenología de los cultivos con períodos del año en los cuales la oferta de recursos y las condiciones ambientales resultan más favorables constituye una de las principales estrategias para estabilizar los rendimientos en estos ambientes productivos con limitaciones sódicas. En climas monzónicos, se suelen adaptar los ciclos de los cultivos a las épocas de mayor oferta de agua, sembrando al inicio de la estación húmeda para alcanzar la madurez antes del inicio de la estación seca<sup>29</sup>. En climas mediterráneos se han desarrollado sistemas similares, buscando aprovechar las precipitaciones invernales y el agua almacenada en el período de barbecho estival<sup>30,31</sup>. Otros planteos productivos como los del Centro-Sur de EEUU, se han orientados hacia esquemas de siembra de cultivos estivales en fechas tempranas, en combinación con el uso de cultivares de ciclos más cortos, de modo de evitar las sequías frecuentes hacia fines del verano<sup>32,33</sup>. A su vez, el largo del período crítico, definido por las condiciones ambientales y el GM, podría utilizarse como estrategia para favorecer la producción de grano en estos ambientes limitados.

Existe una relación directa entre la duración del período crítico y el número de vainas y granos por unidad de superficie<sup>34,35</sup>. Períodos críticos más prolongados permitirían una mayor captura de recursos<sup>36</sup>. En estos suelos de alta dependencia de oferta de lluvias, GM que aseguren un período crítico más prolongado podrían presentar ventajas respecto de los GM más cortos tradicionalmente utilizados.

Otra manera de lograr mejores condiciones hídricas durante el período crítico podría ser a partir de un menor consumo de agua en las etapas vegetativas, asegurando mayores reservas de humedad del suelo en las etapas reproductivas. En sistemas de secano, existiría un nivel de crecimiento óptimo hasta floración para maximizar el rendimiento: demasiado crecimiento y consumo hídrico en el período previo a floración puede disminuir la disponibilidad de agua en el período posterior y disminuir el índice de cosecha, mientras que un bajo crecimiento del cultivo impide generar un nivel de área foliar suficiente para maximizar la asimilación en el período reproductivo<sup>37</sup>.

El efecto del arreglo espacial del cultivo (densidad de plantas y espaciamiento entre hileras) sobre la intercepción de radiación, uso del agua y rendimiento en soja ha sido otro de los factores altamente estudiados<sup>38,39</sup>. En condiciones más restrictivas desde el punto de vista hídrico (años o ambientes), se han reportado mayores eficiencias en el uso del agua o mayor estabilidad en los rendimientos con menor densidad de plantas o mayor espaciamiento entre hileras que los utilizados tradicionalmente<sup>40,41</sup>. En estos suelos sódicos, un mayor espaciamiento entre hileras podría representar una estrategia de manejo adicional, consumiendo menos cantidad de agua antes en el ciclo del cultivo para asegurar un mayor nivel de humedad edáfica durante las etapas reproductivas (por ej. R2-R6 en soja), siempre y cuando una suficiente cobertura del suelo asegure minimizar las pérdidas por evaporación y el crecimiento de malezas.

La corrección de alcalinidad y elevados contenidos de sodio intercambiable en los suelos se realiza a través del uso de enmiendas químicas. El yeso es la enmienda más utilizada y de distribución más generalizada<sup>42,43</sup>, y con numerosas experiencias en nuestro país<sup>44,45,46</sup>. Los efectos del yeso sobre las propiedades de los suelos son bien conocidos: estabiliza la microestructura de las arcillas<sup>47</sup>, aumenta la estabilidad de poros y agregados<sup>48</sup>, y mejora la conductividad hidráulica<sup>49</sup> en el suelo. Esto se debe a las reacciones que se producen en el suelo, que pasan por la incorporación del calcio a la partícula adsorbente y la liberación del sodio a la solución.

Aunque con un período de recuperación más prolongado, los aportes de materia orgánica (rastrajo, desechos animales) y la descomposición y actividad de raíces contribuyen también a disminuir el pH de los suelos por la respiración microbiana y radical, provocando un aumento en la presión parcial de CO<sub>2</sub> y en la solubilidad del carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) presente en el suelo<sup>50,51</sup> que pasaría a reemplazar al Na<sup>+</sup> del complejo de intercambio. Esta práctica de "fitorremediación"<sup>52,53</sup>, asociada generalmente a la actividad ganadera, puede ser también combinada en planteos agrícolas con la aplicación de yeso para la corrección de suelos sódicos<sup>54</sup>. La actividad de raíces y aportes de carbono y rastrajo de rotaciones agrícolas más intensas y con mayor proporción de gramíneas, que a su vez mejoren las propiedades físicas del suelo y permitan un mayor ingreso de agua, podrían potenciar el efecto del yeso.

## **RESUMEN ESTRATÉGICO:**

1. Entender las relaciones suelo-clima-cultivo de los ambientes con limitantes sódicas:
  - 1.a. Analizar grado y tipo de limitantes presentes a escala de lote de producción.
  - 1.b. Diferenciar, seleccionar y caracterizar ambientes diferentes de acuerdo al grado de limitaciones.
  - 1.c. Identificar ventanas críticas y óptimas para los cultivos en los ambientes, que permitan diseñar distintas alternativas productivas (secuencias y rotaciones, fechas de siembra, ciclos).
  
2. Encontrar alternativas de rotaciones de mejor adaptación a ambientes sódicos (estabilidad productiva y rentable, y eficiencia de uso de recursos).
  - 2.a. Considerar el comportamiento agronómico, mejorar sobre las propiedades físicas del suelo y la rentabilidad de rotaciones alternativas con diferente intensidad y proporción de gramíneas
  - 2.b. Implementar toda práctica que aumente la eficiencia de uso del agua en las secuencias de cultivos.
  
3. Adaptar las estrategias de manejo específicas a cada ambiente y cultivos dentro de la rotación, considerando los posibles efectos de:

- 3.a. el retraso en la fecha de siembra y ubicación del período crítico de cultivos de 1ª sobre la estabilidad de la producción, la eficiencia de uso de recursos y el aportes de rastrojo al sistema.
  - 3.b. el largo del ciclo (en cada fecha), sobre la estabilidad, eficiencia de uso de recursos y aportes de rastrojo al sistema.
  - 3.c. el espaciamiento entre hileras sobre el consumo de agua, rendimiento y producción de rastrojo de los cultivos.
- 4: Corregir/Mitigar los efectos negativos del sodio sobre el sistema de producción.
- 4.a. Evaluar el efecto a corto-mediano plazo de la aplicación de yeso sobre las propiedades físico-químicas del suelo en distintos planteos rotacionales (efecto combinado rotación-enmienda), y sobre el rendimiento de los cultivos.
  - 4.b. Ajustar las dosis de la enmienda de acuerdo al grado de limitaciones sódicas.
- 5: Disminuir escurrimientos superficiales y aumentar eficiencia de captación del agua
- 5.a. Considerar fuertemente la inclusión de gramíneas en la rotación como sorgo, maíz y trigo. También el cultivo en franjas rotativas, perpendiculares a la pendiente; terrazas de base ancha, y manejo hidrológico superficial globalmente.

#### **Bibliografía:**

1. United States Department of Agriculture (USDA). Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- 2 .Scoppa, C., Di Giacomo R. M. 1985. Distribución y características de los suelos salinos y/o alcalinos de la Argentina. IDIA N°437-440. Mayo-Agosto.. INTA p.69-77.
- 3 .Lebron, I.; Suarez, D. L.; Yoshida, T. 2002. Gypsum Effect on the Aggregate Size and Geometry of Three Sodic Soils Under Reclamation Soil Sci. Soc. Am. J. 2002 66: 92–98.
- 4 .Suarez, D.L., J.D. Rhoades, R. Lavado y C.M. Grieve. 1984. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:50–55
- 5 .Frenkel, H., J.O. Goertzen and J.D. Rhoades. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:32–39
- 6 .Taboada, Miguel A. 2010. Diferenciación y aptitud de uso de los suelos salinos-sódicos. Suelos salinos. AER Laboulaye, Córdoba.
- 7 .Reicosky. D.C. 2005. Beneficios ambientales globales del manejo del carbono del suelo: preocupación por la erosión causada por la labranza y por la soja. Revista técnica AAPRESID, Conociendo el Suelo en Siembra Directa. P. 29-36.
- 8 .Studdert, G.A. y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1496-1503.
- 9 .Lattanzi, A.; Arce, J.; Marelli, H.; Lorenzon, C.; Baigorria, T. 2005. Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, carbono y nitrógeno orgánico en un suelo argiudol típico en Marcos Juárez. Actas del XIII Congreso de AAPRESID. El Futuro y los Cambios de Paradigma. P. 61-66.
10. Prove, B.G.; Loch, R.J.; Foley, J.L.; Anderson, V.J.; Younger, D.R. 1990. Improvements in aggregation and infiltration characteristics of a krasnozem under maize with direct drill and stubble retention Australian Journal of Soil Research 28(4) 577 – 590.
11. Fahad, A.A.; Mielke, L.N.; Flowerday, A.D.; Swartzendruber, D. 1982. Soil physical properties as affected by soybeans and another cropping sequences. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 337-381
12. Gil, R.C., Ivin, V. 2007. Conferencia Rotaciones que desafían la lógica. XV Congreso de AAPRESID. Reinención y Prospectiva.
14. Alison, F.D.; Fukai, S.; Hulugalle, N. 2008. The Effects of Maize Rotation on Soil Quality and Nutrient Availability in Cotton Based Cropping. Global Issues Paddock Action. Actas del XIV Australian Agronomy Conference. Australian Society of Agronomy
15. Cordone, G.E.; Ferrari, M.C.; Ostojic, J.; Planas, G. 1993. Caracterización de los residuos de cosecha de los principales cultivos del norte de la provincia de Buenos Aires. Trabajos y

- Comunicaciones Resumidos XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. P.191-192. Mendoza, 25-29 de octubre.
- 15.bis. Cordone, G.E.; Ferrari, M.C.; Ostojic, J.; Planas, G. 1995. Post harvest amount, quality and distribution of crop residues in ' Pampa Húmeda' (Argentina). *Agronomy Abstracts, ASA, CSSA, SSSA Anual Meetings*. P.301.
16. Gil, R.C.; Garay, A. 2001. La siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo. En: Panigatti, J.L.; Marelli, H.; Buschiazzi, D. 2001. *Siembra Directa II*, INTA.
17. Tanaka, D.L., 1985. Chemical and stubble-mulch fallow influences on seasonal water contents. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 728-733.
18. Sinclair, T.R. ; Salado Navarro, L.R.; Salas, G.; Purcell, L.C. 2007. Soybean yields and soil water status in Argentina: Simulation analysis. *Agricultural systems*. 94: 471-477.
19. Salado Navarro, L. 2008. Rotaciones de soja en siembra directa: agua útil y rendimientos. *Revista técnica AAPRESID, Soja en Siembra Directa*. P. 35-45.
20. Crabtree, R. J., Prater, J. D., and Mbolda, P. 1990. Long-term wheat, soybean, and grain sorghum double-cropping under rainfed conditions. *Agron. J.* 82:683-686.
21. Caviglia O.P., Sadras V.O. and F.H. Andrade 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean. *Field Crops research* 87, 117-129.
22. Mayaki, W.C., I.D. Teare, y L.R. Stone. 1976. Top and root growth of irrigated and nonirrigated soybeans. *Crop Sci.* 16: 92-94
23. Serraj, R.J., T.R. Sinclair, L.C. Purcell. 1999. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. *J. Exp. Botany.* 50:143-155.
24. Egli, D.B., 1998. *Seed Biology and the Yield of Grain Crops*. CAB International, Wallingford, UK.
25. Kantolic, A.G.; Giménez, P.I. y E.B. de la Fuente. 2006. Ciclo ontogénico, Dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: Cap. 9, p. 166-195, *Producción de Cultivos de Granos. Bases funcionales para su manejo*. Satorre, E.; Benech Arnold, R; Slafer, G.; de la Fuente, E; Miralles, D.; Otegui, M.; Savín, R. (Eds.). Editorial Facultad de Agronomía, Argentina. ISBN: 950-29-0713-2. Primera edición: 2003. Segunda edición: 2004.
26. Board, J.E., Tan, Q., 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and seed number. *Crop Sci* 35, 846-851
27. Egli, D.B., 1997. Cultivar maturity and response of soybean to shade stress during seed filling. *Field Crops Res.* 52, 1-8
29. Monteith, J.L., y S.M. Virmani. 1991. Quantifying risk in the semi- arid tropics: ICRISAT experience. p. 183–204. In R.C. Muchow and J.A. Bellamy (ed.) *Climatic risk in crop production*. CAB Int Oxford, UK.
30. Farahani, H.J., G.A. Peterson, D.G. Westfall, L.A. Sherrod and L.R. Ahuja, 1998. Soil water storage in dryland cropping systems: The significance of cropping intensification. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62: 984-991.
31. Álvaro-Fuentes J., Lampurlanes, J., Cantero-Martínez, C. 2009. Alternative crop rotations under Mediterranean no-tillage conditions: Biomass, grain yield and water-use efficiency. *Agronomy Journal* 101:1227-1234
32. Bowers, G.R. 1995. An early season production system for drought avoidance. *J. Prod. Agric.* 8:112–119
33. Heatherly, L.G. 1999. Early soybean production system (ESPS). p. 103–118. In L.G. Heatherly and H.F. Hodges (ed.) *Soybean production in the midsouth*. CRC Press, Boca Raton, FL.
34. Egli, D.B., Bruenin, W.P., 2000. Potential of early maturing soybean cultivars in late plantings. *Agron. J.* 92, 532-537.
35. Kantolic, A.G. 2006. Duración del período crítico y definición del número de granos en soja: Cambios asociados a la respuesta fotoperiódica en postfloración de genotipos indeterminados de los grupos cuatro y cinco. Tesis doctoral. University of Buenos Aires, Argentina
36. Kantolic, A.G., Mercu, J. L., Slafer, G. A., Sadras, V.O, 2007. Simulated yield advantages of extending post-flowering development at the expense of a shorter pre-flowering development in soybean. *Field Crops Research* 101, 321-330
37. Fischer RA. 1981. Optimising the use of water and nitrogen through breeding of crops. *Plant and Soil* 58, 249–279.
38. Weber, C.R., R.M. Shibles, and D.E. Byth. 1966. Effect of plant population and row spacing on soybean development and production. *Agron. J.* 58:99–102
39. Gregory, P.J., L.P. Simmonds, and C.J. Pilbeam. 2000. Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agron. J.* 92:814–820
40. Alessi, J., and J.F. Power. 1982. Effects of plant and row spacing on dryland soybean yield and water-use efficiency. *Agron. J.* 74:851–854

41. Sojka, R.E., Karlen, D.L., Sadler, E.J. 1988. Planting geometries and the efficient use of water and nutrients. En: *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. ASA Special Publication Number 51. (Ed. by) Hargrove, W.L. Pp: 7-20.
42. Abrol, I.P.; Yadav, J.S.P. & Massoud, F.I. (1988). *Salt-affected soils and their management*, FAO Soils Bulletin, vol. 39. Italy, Rome, 93 pp
43. Delatorre, J. 2000. Universidad Arturo Prat. Iquique. Salinidad de agua y suelos. Primer Seminario Internacional Fertirriego. Santiago, Chile
44. Costa, J L y P. Godz. 1999. Aplicación de yeso a un natracuol del sudeste de la pampa. *Deprimida*. Ciencia del Suelo 17 (2).
45. Mendoza R E, Barberis L A. 1980. Efecto del agregado de yeso y el lavado a un suelo sódico de la depresión del Río Salado y su repercusión sobre la producción de "Lolium perenne" L. RIA 2:397:304.
46. Gambaudo, S.; Fontanetto, H.; Albrecht, J.; Beccaria, G.; Boretto, D. y Boschetto, H. 2009. Recuperación de suelos halomórficos mediante la agricultura de precisión. AFA Gacetilla del Departamento Técnico. Número 12:52-55
47. Gardner W K, Fulton M C, Flood R G. 1992. Reclamation of failed subsurface drainage system on unstable clay soil. *Austr. J. Exp. Agric.* 31:93-97
48. Lebron, I.; Suarez, D. L.; Yoshida, T. 2002. Gypsum Effect on the Aggregate Size and Geometry of Three Sodic Soils Under Reclamation *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002 66: 92-98
49. Frenkel H, Gerstl Z, Alperovitch N. 1989. Exchange- induced dissolution of gypsum and the reclamation of sodic soils. *Soil Sci.* 40:599-611.
50. Abrol, I.P.; Yadav, J.S.P. & Massoud, F.I. (1988). *Salt-affected soils and their management*, FAO Soils Bulletin, vol. 39. Italy, Rome, 93 pp
51. Semple W.S., Cole I.A. y Koen T.B. 2003. Performance of some perennial grasses on severely salinized sites on the inland slopes of New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 357-371
52. Ghaly F.M. 2002. Role of natural vegetation in improving salt affected soil in northern Egypt. *Soil Hill Res.* 64: 173-178.
53. Qadir M., Oster J.D., Schubert S., Noble A.D. y Sahrawat K.L. 2007. Phytoremediation of sodic and saline sodic soils. *Advances in Agronomy* 96: 197-247.
54. Qadir M., Qureshi R. H. y Ahmad N. 1996. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma* 74: 207-217.