

RELACIONES ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y RAÍCES DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) AFECTADA POR “MANCHONEO”

ELENA BONADEO¹; EUGENIO RICARDO HAMPP¹; MARCOS DARÍO BONGIOVANNI¹; INÉS SELVA MORENO¹ & ARIEL ODORIZZI²

¹Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36 km 601. 5800 Río Cuarto.

²Estación Experimental Manfredi. Ruta Nac. N° 9 km 636. Manfredi.

E-mail: ebonadeo@ayv.unrc.edu.ar

Recibido: 12/02/05

Aceptado: 09/11/06

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue relacionar propiedades físicas y físico-químicas del suelo con el sistema de raíces de un alfalfar para situaciones de desarrollo “normal” (N) y de “manchoneo” (M) de la pastura. El pH y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) aumentan con la profundidad en N y M, siendo más notorio el incremento en M. Un pH de 9 ocurre a los 24 y a los 55 cm, para M y N, respectivamente. En el período comprendido entre noviembre de 2001 y abril de 2002, la mayor conductividad eléctrica medida en N fue de 1,83 dS m⁻¹ a los 70 cm y en M de 3,92 dS m⁻¹, a los 30 cm. El menor número total de raíces y la menor profundidad alcanzada en M, en 2001, se atribuyen principalmente a diferencias en el contenido salino, debido a la tolerancia de la alfalfa al elevado PSI. En 2001, hasta los 30 cm, la densidad de longitud de raíces de N superó significativamente a M. En 2002 se observaron diferencias significativas en la profundidad máxima. Se concluye que existe una relación estrecha entre la conductividad eléctrica del suelo y los parámetros radicales evaluados.

Palabras clave. Salinidad, sodio, densidad de raíces.

RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND ALFALFA (*Medicago sativa* L.) ROOTS IN PATCHED SOILS

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the soil physical and physical-chemistries properties as related with the development of the alfalfa root system. Two situations were studied: “normal” (N) and “patched” (M) growth. Exchangeable sodium percentage (ESP) and pH increase with the depth in N and M, being more noticeable in M. pH values of 9 occurred at 24 and 55 cm in M and N, respectively. The ESP shows a similar tendency. In the period between November 2001 and April 2002, the highest measured electrical conductivity in N was 1.83 dS m⁻¹ at 70 cm, and in M 3.92 dS m⁻¹ at 30 cm. In 2001, the lower total root number and the shallower depth reached in M, were due to differences in the saline content mainly. This is probably due to the tolerance of the alfalfa to the high ESP. In 2001, the roots length density until 30 cm, was significantly superior in N. In 2002 differences in the maximum depth were observed. It was concluded that there is a close relationship between the electrical conductivity of the soil and the evaluated root parameters.

Key words. Salinity, sodium, pH, roots density.

INTRODUCCIÓN

Una problemática frecuente de la pampa plana, ubicada en el centro-este de la llanura cordobesa (INTA, 1993) es la aparición -en los principales cultivos y pasturas- de sectores de superficie variable, con límites bien definidos, caracterizados por un menor desarrollo de la parte aérea vegetal, denominados comúnmente “manchón”. Estos sectores alternan con áreas denominadas

“normal” donde la vegetación presenta mayor desarrollo. Una de las características sobresalientes de este fenómeno es el abrupto cambio entre la superficie afectada y la no afectada, siendo las dimensiones de las áreas afectadas del orden de metros (Hampp *et al.*, 2004)

El “manchoneo” de la vegetación ocurre tanto en los suelos de uso agrícola como ganadero. Su manifestación es más intensa en áreas planas o ligeramente deprimidas,

de relieve subnormal, donde los suelos poseen un mayor contenido de sales y/o Na intercambiable a diferentes profundidades (Jarsun, 1996; Bonadeo *et al.*, 2001, 2002), en comparación a los sectores más elevados.

El “manchoneo” adquiere relevancia productiva y económica en pasturas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) por ser éstas el principal recurso forrajero del área y más específicamente de la cuenca lechera de Villa María, Córdoba. Para esta pastura, los “manchones” se manifiestan generalmente al año de implantada, con porcentajes que oscilan alrededor del 10% para llegar a ocupar el 50% o más de la superficie a los tres años de edad.

La sintomatología de las plantas afectadas por “manchoneo” se caracteriza por achaparramiento, hojas más pequeñas, aunque pueden tener mayor espesor que aquellas de plantas normales, y a menudo de un verde más oscuro. Ello coincide con la sintomatología mencionada por Havlin *et al.* (1999) para vegetación de suelos con sales. La intensidad de la manifestación está relacionada con la variedad utilizada, con la etapa ontogénica por la que atraviesa la pastura y con el déficit hídrico (Jarsun, 1996), entre otros factores.

Estudios previos han demostrado que el principal factor, determinante del “manchoneo”, está relacionado a la presencia de sales y sodio en horizontes subsuperficiales (Bonadeo *et al.*, 2001). Ello afecta, entre otras, las principales características del sistema de raíces (Bonadeo *et al.*, 2002).

El objetivo de este trabajo fue relacionar propiedades físicas y físico-químicas del suelo con el sistema de raíces de un alfalfar para situaciones de desarrollo “normal” y de “manchoneo” de la pastura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del Área

El área en estudio se sitúa alrededor de los 32°29' S y 63°17' W ubicada en la hoja Villa María (INTA, 1987). El relieve es subnormal, con pendiente regional hacia el este, no mayor al 0,5%.

El clima del área es templado subhúmedo, con una precipitación media anual de 799 mm, de régimen monzónico y balance hidrológico que presenta un déficit marcado para la etapa estival (enero-febrero) y equilibrado para el resto (INTA, 1987). En la Figura 1 se indica la variación de las lluvias según los meses del año y para el período analizado.

El suelo es un Haplustol típico, con fases por alcalinidad y salinidad a distintas profundidades (Hampp, com. personal).

En el período de estudio la capa freática osciló, en promedio, a una profundidad de 2,5 m y la conductividad eléctrica (CE) de la misma, en la primavera de 2001, fue de 1,51 dS m⁻¹ en el sector normal y de 2,24 dS m⁻¹ en el manchón.

El área experimental se instaló en un lote de producción de alfalfa cv. Monarca sp. (INTA) grupo 8, sembrada en abril de 2001. A los 120 días de implantada, cuando aún no se manifestaba la sintomatología estudiada, y con el objetivo de ubicar las situaciones normal (N) y manchón (M), se realizó un muestreo sistemático de suelo (Dick & Thomas, 1999). El área barrenada fue de 8 ha, extrayendo las muestras según una grilla de 30 x 30 m, a una

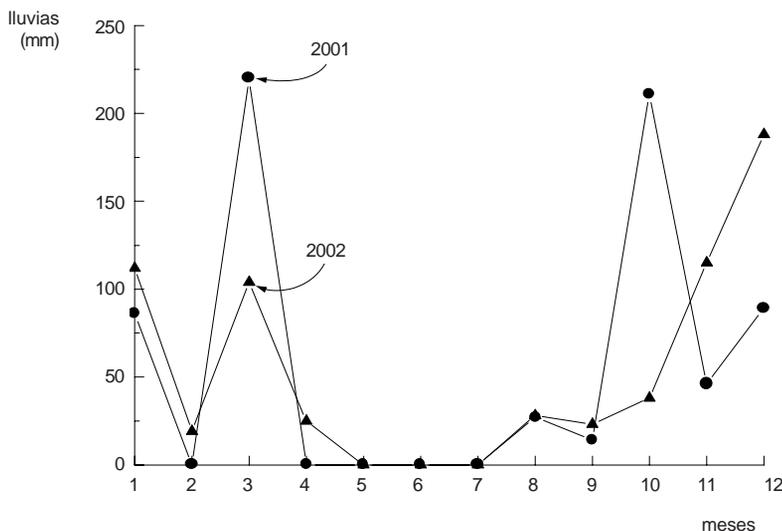


Figura 1. Precipitaciones mensuales para los años 2001 y 2002.

Figure 1. Monthly rainfall for years 2001 and 2002.

profundidad de 50 cm. La profundidad de muestreo se estableció por antecedentes de cambios importantes en la CE de la solución del suelo a estos niveles (Bonadeo *et al.*, 2001). A partir de los resultados obtenidos, se seleccionaron tres lugares correspondientes a los menores valores de $CE_{1:1}$ (promedio 0,166 dS m⁻¹) y los tres lugares correspondientes a los mayores valores de $CE_{1:1}$ (promedio 1,00 dS m⁻¹), denominándolos "normal" (N) y "manchón" (M), respectivamente.

Se describieron los suelos (Etchevehere, 1976) en N y M, determinándose las propiedades que a continuación se detallan (Tabla 1).

El diseño del ensayo fue completo al azar con tres repeticiones.

Determinación de parámetros de suelo

En los tres lugares seleccionados, tanto en N como en M, se determinaron por horizonte, los parámetros que a continuación se mencionan:

- pH: método potenciométrico, relación suelo:agua 1:2,5,
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): método del Acetato de Sodio Normal, (pH 8.2) (Page *et al.*, 1982),
- Sodio Intercambiable: desplazamiento con Acetato de Amonio Normal, pH 7 (Page *et al.*, 1982) y valoración por fotometría de llama,
- Densidad aparente (DAP): método del cilindro (Klute, 1986),
- $CE_{1:1}$, para lo cual se extrajeron muestras mensualmente hasta el metro de profundidad, a intervalos de 20 cm, desde septiembre de 2001 a abril de 2002.

Los valores obtenidos se corrigieron a CE_e , mediante la ecuación: $CE_e = CE_{1:1} / 0,59$ (Smith & Doran, 1996).

Determinación de parámetros radicales

Densidad de longitud de raíces (DLR): método del perfil expuesto (Bohm, 1979), con modificaciones. La determinación

se realizó en noviembre de 2001 y de 2002. Se utilizaron grillas de 90 x 135 cm, divididas en celdas de 5 cm de lado. Previo a su colocación -transversal a la línea de siembra- se quitaron 0,5 cm de la pared de suelo previamente alisada, rociando con agua a presión. Esto permitió exponer las raíces para su recuento. Los valores de DLR (cm de raíz.cm⁻³ de suelo) se calcularon de la siguiente forma = N° raíces en el horizonte x 0,5 / (90 x 5 x 0,5 cm).

Número total de raíces: contadas en la grilla.

Análisis Estadísticos

Los datos obtenidos, se analizaron estadísticamente mediante análisis de la varianza y LSD Fisher (SAS Institute, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 1 y 2 se presentan valores promedio de las propiedades físico-químicas evaluadas para las dos situaciones abordadas.

Del análisis de las Tablas 1 y 2 surge que tanto en N como en M a medida que se profundiza aumenta el pH y el PSI, pero el incremento en M es más notorio, por ej. un pH de 9 se manifiesta a los 24 cm, mientras que en N recién se alcanza a los 55 cm. La presencia de sales (Figura 2) y sodio (Tabla 2) está relacionada a procesos de ascenso capilar vinculados a una capa freática, con predominio de sales sódicas y que oscila alrededor de los 2,5 m de profundidad.

El mayor contenido de sales en M se atribuye a que se han producido lixiviados de menor intensidad como consecuencia del elevado PSI a partir de los 24 cm.

Tabla 1. Características del suelo en las situaciones Normal y Manchón.

Table 1. Soil characteristics at the Normal and Patch situations.

	Horiz.	Prof. (cm)	pH	MO (%)	CIC (cmol kg ⁻¹)
Situación "Normal"	A	0- 26	6,88	2,64	12,6
	Bw	26 - 37	7,80	1,32	14,3
	Bwk	37 - 55	8,62	1,16	14,3
	Bck	55 - 90	9,33	0,95	13,0
	Ck	> 90	9,56	0,84	10,9
Situación "Manchón"	A	0 - 24	7,26	2,37	11,7
	Bwk1	24 - 43	9,14	0,99	13,4
	Bwk2	43 - 66	9,83	0,93	12,6
	Ck ₁	66 - 96	9,85	0,66	13,0
	Ck ₂	> 96	9,90		10,2

Tabla 2. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI), densidad aparente (DAP), número total de raíces y profundidad máxima alcanzada para las situaciones Normal y Manchón.

Table 2. Exchangeable Sodium Percentage (ESP), bulk density (Bd), total amount of roots and maximum depth at the Normal and Patch situations.

	Horiz.	*PSI	*DAP	**Núm total de raíces		**Prof. máxima	
			(Mg m ⁻³)	Primavera 2001	Primavera 2002	Primavera 2001	Primavera 2002
Situación "Normal"							
	A	2,4a	1,29 a				
	Bw	12,4a	1,36 a	2.231a	2.575 a	80a	150a
	Bwk	14,2a	1,31a				
	BCK	23,4a	1,30a				
	Ck	39,7a	1,40a				
Situación "Manchón"							
	A	12,4a	1,35a				
	Bwk1	33,0a	1,35a	1.605b	2.439 a	70 a	100b
	Bwk2	42,0a	1,37a				
	Ck ₁	43,9a	1,45b				
	Ck ₂	45,1a	1,45a				

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

**Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.10$).

En la Figura 2 se representan gráficamente los resultados promedio obtenidos de la dinámica de sales durante el período evaluado, pero sólo para los meses que presentaron valores extremos. Se considera que esta sim-

plificación da más claridad a la interpretación, ya que los valores excluidos solamente representan sucesiones intermedias de la dinámica salina.

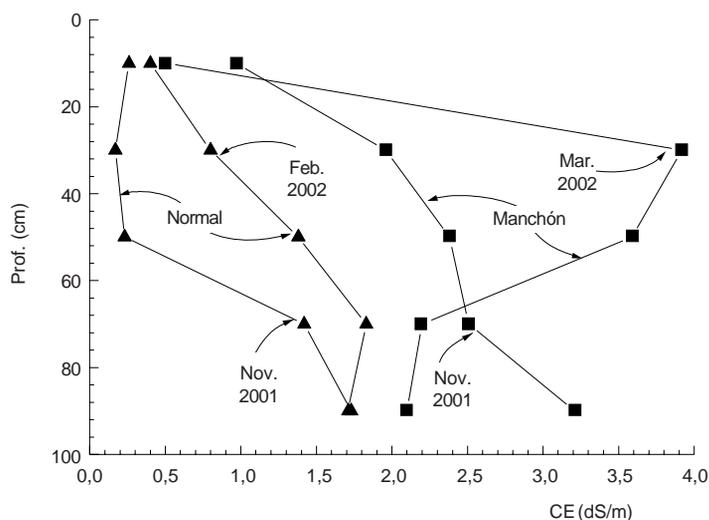


Figura 2. Evolución del nivel de sales en el suelo, para dos situaciones extremas en el período comprendido entre setiembre de 2001 y abril de 2002, en situación N y M.

Figure 2. Evolution of soil salts content, for two extreme situations at the period between september 2001 and april 2002, in situations N and M.

En la Figura 2 se observa que la CE de M superó a la de N en el período analizado. Las diferencias de CE fueron estadísticamente significativas, para todas las profundidades en el mes de noviembre de 2001, en tanto que para febrero-marzo de 2002 las diferencias fueron significativas a los 30 y 50 cm de profundidad, respectivamente. Para el mes de noviembre, y a los 90 cm de profundidad, ocurrió la mayor CE de N que fue de $1,73 \text{ dS m}^{-1}$, mientras que para el mismo mes, y a la misma profundidad, la mayor CE de M fue superior en un 76%. Con relación al mes de febrero, la mayor CE de N ocurrió a los 70 cm y fue de $1,83 \text{ dS m}^{-1}$ y la mayor CE de M fue de $3,92 \text{ dS m}^{-1}$, a los 30 cm, siendo esta última un 114% más elevada.

Tanto en N como en M el menor contenido salino se encontró en noviembre de 2001. Esto se atribuye a la importante cantidad de precipitaciones ocurridas durante el período setiembre-noviembre y que permitió el lixiviado de las sales. El mayor contenido se alcanzó en febrero-marzo para N y M, esto como consecuencia de la menor cantidad de precipitaciones y la alta tasa evapotranspiratoria que normalmente ocurre en esta parte del año. El ascenso de la solución salina en esta última situación provocó una mayor concentración de sales, en la capa comprendida entre los 20-30 cm.

Aunque con variaciones estacionales, la salinidad crítica para la alfalfa, -2 dS m^{-1} , se encuentra siempre muy cercana a la superficie en M, mientras que en N ello no ocurre, al menos hasta los 100 cm de profundidad.

En la Tabla 2 se observan los valores de DAP para los distintos horizontes de ambas situaciones.

La DAP es mayor para M, en todo el perfil, a excepción del segundo horizonte donde ambos valores son similares. Estos mayores valores de DAP, que se hacen estadísticamente significativos en el cuarto horizonte, se relacionan con el elevado contenido de sodio. Este elemento que satura el complejo de cambio en porcentajes superiores al 30%, genera destrucción de agregados y obturación de poros por el movimiento de partículas, provocando una compactación mecánica irreversible (Varallay, 1981).

Si bien, los datos analíticos indican sólo una escasa diferencia en el contenido de materia orgánica, el color del horizonte Ap de M es notablemente más claro que el de N. Esto podría atribuirse a diferencias en los procesos genéticos que llevaron a la formación de compuestos húmicos (en un medio más agresivo) de colores más claros y menos polimerizados.

En la Tabla 2 se indica el número total de raíces contadas y profundidad máxima alcanzada, para la primavera 2001 y 2002, en ambas situaciones. En ésta se aprecia

que existen diferencias significativas en el número total de raíces en primavera de 2001, diferencias que no se manifiestan en la primavera de 2002, es decir cuando la pastura tenía 18 meses.

Las diferencias de la primera evaluación se atribuyen fundamentalmente a la CE de M, que supera la tolerancia de la especie. Elevados contenidos de sales afectan el tamaño final de las células de las raíces, así como su velocidad de producción (Kurth *et al.*, 1986, citado por Kafkafi & Bernstein, 1996).

Si bien los valores de PSI son muy diferentes, no afectarían en forma notoria la exploración de raíces ya que según Bressler *et al.* (1982), la alfalfa es tolerante hasta un rango de 40-60 de PSI, a partir del cual se reduce el crecimiento por condiciones físicas de suelo adversas.

La ausencia de diferencias significativas en el 2002, se debe a que la metodología utilizada para el conteo de raíces no permite diferenciar raíces de alfalfa de raíces de malezas. En la situación M se visualizaban incipientes plantas de malezas de gramíneas, que se manifiestan como consecuencia del debilitamiento de las plantas de alfalfa, a partir del segundo ciclo de producción. También podría deberse a crecimiento compensatorio (Scott Russell, 1977) en el primer horizonte, por la menor profundidad máxima alcanzada, según Tabla 2.

Con relación a la profundidad máxima alcanzada por las raíces, comparando ambas situaciones, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la primavera de 2001. Esto puede deberse a la etapa ontogénica en que se encontraba la pastura, en su primer año de producción, y a la adecuada condición hídrica del suelo, generada por elevadas lluvias de otoño y principios de primavera (Figura 1). Con respecto a la primavera de 2002 se detectaron diferencias significativas en la profundidad máxima, ello se atribuye al mayor contenido salino, característico de M (Figura 2) aspecto citado por Kafkafi & Bernstein (1996) quienes mencionan que el estrés salino inhibe la elongación de raíces en la mayoría de las especies.

En las Figuras 3 y 4 se indica la variación de la DLR con la profundidad para ambas situaciones, en primavera 2001 y primavera 2002.

En la primavera de 2001 se observaron diferencias significativas en DLR hasta los 30 cm de profundidad. Posiblemente la condición inicial más desfavorable de M, dada por la mayor CE (aspecto ya discutido en párrafos precedentes) y la mayor DAP (que si bien solo las diferencias son significativas en el cuarto horizonte), afectaron la producción y proliferación de nuevas raíces, pero no la profundidad máxima alcanzada. En la primavera de 2002 no se observaron diferencias significativas hasta

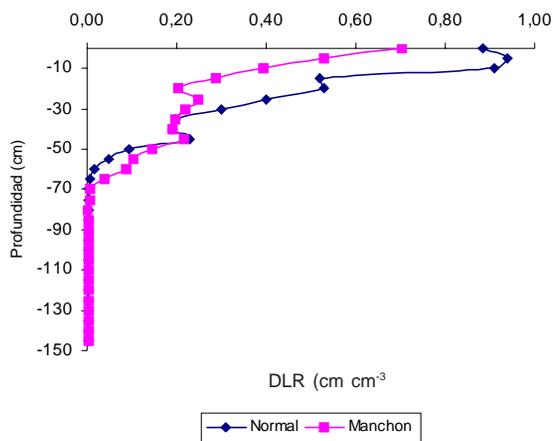


Figura 3. Variación de la densidad de longitud de raíces (DLR) en función de la profundidad para ambas situaciones en primavera de 2001.

Figure 3. Variation of root length density (DLR) as a function of depth for both situations at Spring of 2001.

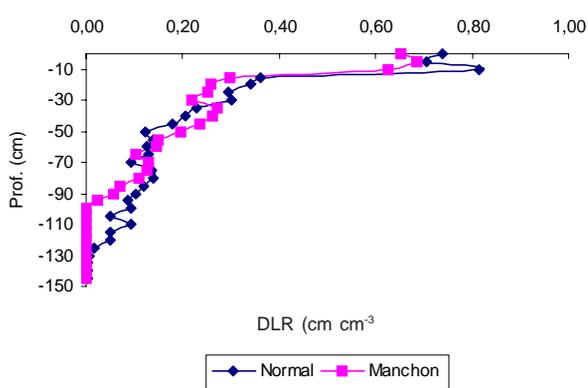


Figura 4. Variación de la densidad de longitud de raíces (DLR) en función de la profundidad para ambas situaciones en primavera de 2002.

Figure 4. Variation of root length density (DLR) as a function of depth for both situations at Spring of 2002.

los 100 cm, a partir de esa profundidad no existen raíces en M, en tanto que en N las mismas proliferan hasta los 150 cm. La ausencia de diferencias significativas en las DLR se atribuye a la presencia de raíces de malezas gramíneas, como se mencionara oportunamente.

CONCLUSIONES

Debido a las diferencias encontradas en los parámetros evaluados, principalmente sodio intercambiable y conductividad eléctrica, las raíces de alfalfa presentan un comportamiento diferente según situación, evidenciando M mayores restricciones a la expresión de su potencial genético.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, al Ingeniero Agrónomo Ángel Barrenechea de INTA Villa María por su invaluable colaboración, y especialmente a la Agencia Córdoba Ciencia por el financiamiento parcial de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bonadeo, E; I Moreno; E. Hampp & A Sorondo. 2001. Factores del suelo que regulan la productividad del cultivo de alfalfa en áreas con Manchoneo. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo: IV-20. Cuba.
- Bonadeo, E; I Moreno; A Odorizzi; E Hampp; A Sorondo & M. Bongiovanni. 2002. Relación entre propiedades físico-químicas del suelo y raíces de alfalfa (*medicago sativa* L.). XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.
- Bohm, W. 1979. Methods of Studying Root Systems. 187 pp. Springer Verlag, New York, USA.
- Bressler, E; GL McNeal & DL Carter. 1982. Saline and sodic soils. Modelling, Principles, Dynamics. Advances Series in Agriculture Sciences 10 Springer Verlag.
- Dick, RP & DR Thomas. 1999. Standardized methods, sampling and sample pretreatment. *In*: Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication Number 49. Madison, Wisconsin, USA.
- Etchevere, P. 1976. Normas de reconocimiento de suelos INTA Castelar. Publicación N° 152.
- Hampp, E; E Bonadeo; M Bongiovanni & I Moreno. 2004 Aspectos genéticos de suelos con manchoneo XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.

- Havlin, JL; JD Beaton; SL Tisdale & WL Nelson. 1999 Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Sixth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.
- INTA. 1987. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-9 Villa María. Plan Mapa de Suelos Córdoba-Argentina.
- INTA. 1993 Atlas de Suelos de la República Argentina. 2 Tomos. 677 páginas.
- Jarsun, B. 1996. Condiciones del suelo para la alfalfa. EEA INTA Manfredi.
- Kafkafi, U & N Bernstein. 1996 Root growth under salinity stress (22) Pp. 453-70. *In: Y Waisel; A Eshel & U Kafkafi (ed.). Plant Roots. The Hidden Half. Marcel Dekker, Inc. New York. Second edition.*
- Klute, A. (ed.) 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agron. Monograph N° 9 ASA, SSSA. Madison, Wisconsin USA.
- Kurth, E; GR Kramer; A Läuchli & E Epstein. 1986. Effects of NaCl and CaCl₂ on cell enlargement and cell production in cotton roots. *Plant Physiol.* 82: 1102-1106.
- Page, AL; RH Miller & DDR Keeney. (eds.) 1982. Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and microbiological properties. Agron. Monograph N° 9. ASA, SSSA. Madison, Wisconsin USA.
- SAS Institute 1989. SAS User's Guide: Statistics. Versión 6.3rd ed. SAS Inst. Inc. Cary North Caroline, USA.
- Scott Russell, R. 1977. The growth and form of root systems. *In: Plant root systems: Their function and interaction with the soil. Mc. Graw Hill Book Company (UK) Limited. London.*
- Smith, JL & JW Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. p. 176. *In: JW Doran & AJ Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication N° 49. SSSA. Madison, Wisconsin, USA.*