

EVALUACIÓN DE DOSIS DE ÁCIDO POLIMALEICO EN LA REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE SALINIDAD Y SODICIDAD DEL SUELO

□ P.R.C. Lopes⁽¹⁾; J.M. Gisbert⁽³⁾; L. D. Gomez⁽³⁾; L.D. Souza⁽²⁾; O. A. de Almeida⁽²⁾

ABSTRACT

The effect of levels of polimaleic acid on the reduction of salinity and sodium contents of three soil types was evaluated. Twelve 50cm long and 9cm diameter PVC tubes were used, closed in their low end, having a water escape for drainage. They all received the same amount of soil, up to a height of 40.0cm, so that all of them reached the same density. Four levels of polimaleic acid (0, 5, 10 and 15 L/ha) were tested on each soil type, with controlled irrigations for washing the soil. After that, soil samples were taken and submitted to the levels of the polymer in order to get the saturation extracts for determining electrical conductivity, cation and anion contents and SAR. For the three soil types, the highest levels of the polymer were more efficient for washing the salts and the interchangeable sodium, reflected by a lower electrical conductivity of the saturation extract.

Key words: Soil salinity, leaching, polimer, doses

RESUMEN

Se evaluó el efecto del ácido polimaleico en el lavado de tres tipos de suelos con distintos niveles de salinidad. Se utilizaron 12 tubos de PVC de 50 cm de longitud y 9 cm de diámetro, tapados por su parte inferior y con una boca de salida de agua de drenaje. Se probaron 4 dosis de ácido polimalei-

co (0, 5, 10 y 15 L/ha) en cada tipo de suelo, seguidas de riegos controlados para después recoger el agua de drenaje en la que se midió la conductividad eléctrica y se determinaron los cationes y aniones. Para los tres tipos de suelos, las dosis más elevadas del polímero se presentaron más eficientes en el lavado de las sales y del sodio intercambiable, reflejado en una mayor conductividad eléctrica del agua de drenaje.

Palabras clave: Suelos salinos, lavado, polímero, dosis.

INTRODUCCIÓN

La recuperación de suelos con problemas de exceso de sales consiste en prácticas destinadas a devolver al suelo su potencial de producción, mejorando sus características físicas y químicas, que provocan la reducción de los efectos tóxicos de las sales solubles y del sodio intercambiable (Fuller, 1979). La recuperación consiste básicamente en la eliminación de las sales solubles del perfil hasta niveles suficientemente bajos y a una adecuada profundidad que permitan el desarrollo de los cultivos. Para lograrlo se hace pasar por el perfil del suelo una cantidad suficiente de agua de buena calidad, cuya función es disolver y transportar las sales solubles a capas más profundas, para su posterior evacuación por los sistemas de drenaje (Valdivieso, 1983).

- (1) Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-Árido (Embrapa Semi-Árido) 56.300-000, Petrolina, PE, Brasil.
(2) Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (Embrapa CNPMF) 43800-000, Cruz das Almas, BA, Brasil.
(3) Departamento de Produção Vegetal, Unidade Docente de Solos de la Universidad Politécnica de Valencia. 46.010, Valencia.



Una panorámica del campo de cultivo origen de la muestra PB, situada en Pulpi (Almería), que se dedica al cultivo del Brócoli.

Las sales solubles aumentan o disminuyen en la zona radicular dependiendo de que su movimiento hacia abajo sea mayor o menor que su deposición a consecuencia del aporte de sales con el agua de riego. El balance de sales en el suelo se ve afectado por la cantidad y calidad del agua de riego, por lo que la efectividad del lavado y del drenaje es de gran importancia.

Con base en las pruebas de lavado, se puede saber cuanto se desaliniza un suelo desde un valor inicial de CE hasta un valor final, en función de la cantidad de agua efectiva de lavado en la profundidad de suelo requerida. La cantidad de agua de riego necesaria para mantener el equilibrio de las sales se puede calcular analíticamente, con un balance de agua y sales en el perfil (Pizarro, 1976).

Para la recuperación de suelos salinizados, básicamente, se utilizan dos técnicas fundamentales que son: el lavado de las sales y el uso de mejoradores químicos. Además existen técnicas auxiliares, tales como las mecánicas, físicas, biológicas y eléctricas, cuya función es aumentar la eficiencia de las técnicas fundamentales (Richards, 1973). La recuperación de suelos sódicos median-

te el uso de mejoradores químicos consiste en la incorporación de sustancias con la finalidad de solubilizar el calcio existente en el suelo o añadir el calcio en forma soluble, que posibilite la sustitución del sodio por calcio en el complejo de cambio (Richards, 1973).

Las sustancias o correctores utilizados para esta finalidad son el yeso, azufre y otros. La elección de una de estas sustancias depende de las características del suelo, velocidad de recuperación y limitaciones económicas. Actualmente el yeso es el producto más utilizado, debido a su

bajo costo. El yeso u otro producto similar pueden promover la floculación de los coloides, mejorando la estructura del suelo. En suelos con carbonatos y bicarbonatos, normalmente se usan productos que merced a las reacciones que suceden en el suelo consiguen que se forme NaSO_4 , que es después eliminado por el agua de drenaje (Pereira et al., 1985).

Otros productos utilizados con el objetivo de mejorar las características físicas y químicas de suelos afectados por exceso de sales y sodio cambiable son los polímeros sintéticos, conocidos como acondicionadores de suelos. La eficiencia de estos productos en la mejora de las características del suelo ha sido comprobada por varios autores. Los polímeros aplicados al suelo aumentan la eficiencia del lavado (Allison, 1952), reducen la dispersión de las arcillas (Helalia y Letey, 1989), reducen la formación y resistencia de la costra superficial (Shaimberg y Levy, 1994), aumentan la estabilidad de los agregados (Mitchel, 1986) y aumentan la tasa de infiltración y conductividad hidráulica (El Morsy et al., 1991; Ben-Hur y Keren, 1997).

El objetivo de este estudio há sido evaluar el

efecto de distintas dosis de ácido polimaleico en la reducción de los niveles de salinidad y sodicidad de tres tipos de suelos.

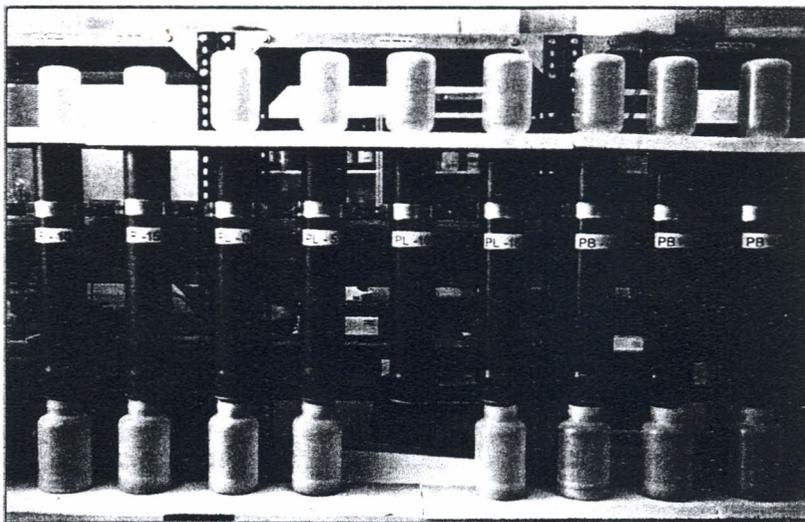
MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron tres tipos de suelos con problemas de salinidad, causados por el uso de agua de riego de mala calidad, cuyas características químicas se presentan en la Tabla 1. El suelo R, procedente de Orihuela (Alicante), es un franco-arcilloso con una conductividad eléctrica del extracto de saturación 7,21 dS/m. Los suelos PL y PB proceden de Pulpí (Almería), presentan texturas franco-limoso y franco-arenosa, respectivamente, y conductividades eléctricas de 5,10 y 40,78 dS/m.

Para el estudio se utilizaron 12 tubos de PVC de 50 cm de longitud y 9 cm de diámetro, tapados por su parte inferior y con una boca de salida de agua de drenaje. Para no perder la tierra por debajo, se colocó un paño inerte en el fondo.

Se llenaron 4 tubos con cada tipo de suelo, en los que se colocó la misma cantidad en peso hasta una altura determinada (40 cm) para que todos ellos alcanzasen una densidad semejante a la medida en campo. Una vez llenados se colocaron verticalmente a nivel, fijados en una estantería, colocándose por debajo y a la misma altura de la tapa de la boca de salida, un bote de un litro para recoger el agua de drenaje.

Se aplicaron 4 dosis de ácido polimaleico (0, 5, 10 y 15 L/ha) para cada tipo de suelo con el primer riego y con un volumen de agua suficiente para que el suelo alcance la humedad correspondiente a la capacidad de campo. Pasada una semana del primer riego, tiempo suficiente para que el ácido polimaleico actúe en el suelo, se aplicaron riegos controlados cada dos días, hasta completar las láminas correspondientes. Los riegos se hicieron con agua destilada, simulando las



Montaje del experimento del laboratorio, consistente en la estantería que sirve de soporte a los tubos donde se efectúa el lavado de los suelos.

lluvias. Para cada tipo de suelo se aplicaron láminas de agua, correspondientes a las precipitaciones de los lugares donde se recogieron las muestras de tierra. Para el suelo R se aplicó una lámina de 308 mm y para los suelos PL y PB de 177,3 mm.

Después del lavado de los suelos se recogieron muestras de éstos, sometidos a las distintas dosis de polímero probadas, para obtener los extractos de saturación, en los que se determinaron la Conductividad Eléctrica (C.E.), los cationes, los aniones y el SAR, por la fórmula:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Na^+ + Ca^{2+}}{2}}}$$

Los métodos de análisis utilizados para la determinación de los cationes y de los aniones han sido los propuestos en los Métodos Oficiales de Análisis de Suelos y Aguas (MAPA, 1994).

El polímero utilizado es un polianiónico que presenta en su composición un 33% de ácido polimaleico, contenidos sólidos de 47 - 53%; pH entre 1,0 y 2,0; viscosidad (25° C) de 10 - 35 mm²; peso molecular de 500-1000 K daltons; soluble en agua

y metanol, fabricado por FMC Foret.

Los datos de conductividad eléctrica y del SAR del extracto de saturación, respecto a las dosis de polímero y agua aplicada, se analizaron mediante aplicación del test de Duncan al nivel del 95%, con el paquete estadístico Statgraphics Plus.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo R después del lavado con agua destilada, sometido a las dosis de polímero aplicadas se presentan en la Tabla 2. La conductividad eléctrica del suelo se redujo de forma diferenciada al someterlo a las distintas dosis de polímero. El tratamiento con la dosis de 15 L/ha presentó la menor conductividad del extracto de saturación del suelo al finalizar la experiencia, aumentando un poco para las dos dosis intermedias, que presentaron valores semejantes. El testigo presentó la mayor conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo. La eficiencia relativa de las dosis del polímero en la reducción de la conductividad eléctrica del suelo, respecto al testigo, ha sido del 24,82% para la dosis mayor, mientras que para las dos menores ha sido del 15,33 y 13,87%, respectivamente. El análisis estadístico de los datos permite comprobar que todas las dosis han sido más eficientes que el testigo en el lavado de las sales del suelo. Las dosis de 5 y 10 L/ha presentaron el mismo efecto, mientras que la más elevada difirió estadísticamente de éstas dos.

Para el suelo PL la variación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación después del lavado bajo las dosis del polímero aplicadas se redujeron para todos los tratamientos después del lavado del suelo. Las menores conductividades se observaron en los tratamientos con las dosis más elevadas, mientras que el testigo presentó la mayor conductividad. La comparación de las conductividades medias de cada tratamiento demuestra que la eficiencia de las dosis de 5, 10 y 15 L/ha en la reducción de los niveles de salinidad del suelo, respecto al testigo, ha sido del 35,80; 20,99 y 10,49%, respectivamente.

te. Todas las dosis difirieron estadísticamente entre sí y se presentaron superiores al testigo, demostrando la eficiencia del polímero en el lavado de las sales del suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Conductividad eléctrica del extracto de saturación de los suelos estudiados después del lavado, bajo las dosis de polímero aplicadas.

Muestras	Suelos		
	R	PL	PB
	dS/m		
Antes del lavado	7,21	5,10	40,78
Dosis probadas			
Testigo	1,37a	1,62a	4,61a
5 L/ha	1,18 b	1,45 b	3,83 b
10 L/ha	1,16 b	1,28 c	3,19 c
15 L/ha	1,03 c	1,04 d	2,87 d

Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente por el Test de Duncan al nivel del 95% de probabilidad.

Para el suelo PB la conductividad eléctrica del extracto de saturación también se redujo de forma diferente para todos los tratamientos después del lavado del suelo. En la Tabla 2 se aprecia la conductividad eléctrica del suelo después del lavado para cada dosis, evidenciando el efecto acondicionador del polímero en el lavado de las sales. Las dosis más elevadas presentaron las menores conductividades del extracto de saturación del suelo, mientras que para el testigo ésta ha sido mayor. La eficiencia relativa de las dosis más elevadas en la reducción de la conductividad eléctrica del suelo, respecto al testigo, ha sido del 37,74; 30,80 y 16,92%, respectivamente. El análisis estadístico de los datos comprueba que todas las dosis han sido más eficientes que el testigo y difirieron entre ellas, demostrando la eficiencia del polímero en la reducción de la salinidad del suelo.

Con el lavado del suelo hubo una gran lixiviación de las sales solubles en el agua de drenaje,

reduciéndose drásticamente el nivel de salinidad del suelo. Para los tres tipos de suelos estudiados las dosis más elevadas del polímero presentaron menor conductividad eléctrica del extracto de saturación al final de la experiencia de lavado, lo que hace suponer que han sido más eficientes, lixiviando mayor cantidad de sales solubles.

Observando los niveles de salinidad de los suelos R y PL se aprecia que éstos presentaban la condición de medianamente salinos, y después del lavado pasaron a la condición de suelo no salino para todas las dosis probadas. A pesar de que los suelos presentaron la misma condición de salinidad, se apreció también que las dosis más elevadas de polímero presentaron conductividades eléctricas menores que el testigo. El suelo PB que antes del lavado era extremadamente salino, pasó a la condición de medianamente salino para el testigo, mientras que las dosis más elevadas de polímero han pasado a la condición de ligeramente salino.

El aprovechamiento del agua de lluvia para el lavado de suelos salinos es la manera más económica y efectiva, debido a que este agua presenta una mayor capacidad de disolución y arrastre de las sales solubles. Aunque este tipo de agua presenta una bajísima conductividad eléctrica, en muchos suelos podrá ocasionar problemas en sus características físicas y químicas, debido a la disminución de la concentración electrolítica de la solución del suelo por debajo del valor permitido, lo que causaría la dispersión de las arcillas, teniendo como consecuencia la destrucción de la estructura y reducción de la permeabilidad.

La aplicación de sustancias químicas con el objetivo de aumentar la eficiencia del lavado es una técnica muy utilizada en la recuperación de suelos salinos y sódicos. Las sustancias más ampliamente utilizadas son el yeso y los polímeros naturales y sintéticos. La acción de éstos productos influye en el aumento de la eficiencia del lava-

do como ha sido comprobado por Richards (1973), Allison (1952), Quastel (1954), Kamaraev et al. (1982) y otros. Según Allison (1952) los polímeros aumentan la eficiencia del lavado del suelo debido a que éstos aumentan la estabilidad de los agregados y como consecuencia la permeabilidad del suelo, permitiendo un mayor flujo de agua en el perfil arrastrando las sales por debajo de la zona radical. Para los tres tipos de suelos estudiados las dosis más elevadas del polímero presentaron los menores niveles de salinidad, lo que comprueba que han sido más eficientes en el lavado de las sales del suelo.

La variación del SAR del suelo R después del lavado del suelo, sometido a las distintas dosis de polímero probadas se aprecia en la Tabla 3. El SAR se redujo de forma diferenciada para todos los tratamientos después del lavado del suelo. Las dos dosis más elevadas presentaron un menor SAR, y efectos semejantes, demostrando la capacidad del polímero para inducir un mayor transporte de sodio en el agua de lavado. Para las dos dosis menores, el SAR ha sido mayor. La eficiencia relativa de las dosis en la reducción del SAR del suelo, respecto al testigo, ha sido del 2,51; 8,90 y 11,42%, respectivamente, a medida que aumenta la dosis de polímero. El análisis estadístico de los datos demuestra que las dos dosis más elevadas no difirieron estadísticamente entre sí, pero difirieron de las dosis de 5 L/ha y del testigo, que presentaron entre ellas el mismo efecto.

La Tabla 3 presenta también la variación del SAR del suelo PL después del lavado bajo las dosis de polímero aplicadas. Para todos los tratamientos, el SAR del suelo se redujo después del lavado, principalmente para las dos dosis más elevadas que presentaron la misma reducción. Las dos dosis menores presentaron un mayor SAR. La relación numérica de los valores del SAR demuestra que la eficiencia relativa del polímero en la reducción de éste, respecto al testigo, ha sido del 20,41% para las dos dosis mayores, y del 10,20%

para la dosis de 5 L/ha. Los resultados del análisis estadístico demuestran que las dos dosis más elevadas han sido más eficientes que el testigo en la reducción del SAR del suelo, mientras que las otras dosis no difirieron entre ellas.

Para el suelo PB, la variación del SAR después del lavado del suelo bajo las dosis de polímero aplicadas, se presenta en la Tabla 3. El SAR del suelo se redujo después del lavado, al someterlo a las distintas dosis de polímero y para todas ellas. La dosis más elevada presentó un menor SAR, aumentando un poco para las dos intermedias, que presentaron efectos semejantes. El testigo presentó el mayor SAR después del lavado. La eficiencia relativa de las dosis en la reducción del SAR del suelo, respecto al testigo, ha sido del 15,91; 20,45 y 26,78%, respectivamente, para las dosis de 5, 10 y 15 L/ha. El análisis estadístico de los datos demuestra que las tres dosis más elevadas han sido más eficientes que el testigo, mientras que éstas presentaron el mismo efecto en la reducción del SAR del suelo.

Tabla 3. Valores del SAR del extracto de saturación de los suelos estudiados después de lavados, bajo las dosis de polímero aplicadas.

Muestras	Suelos		
	R	PL	PB
Antes del lavado	10,62	2,08	18,48
<i>Dosis probadas</i>			
Testigo	4,38a	0,49 a	3,96 a
5 L/ha	4,27a	0,44 ab	3,33 b
10 L/ha	3,99 b	0,39 b	3,15 b
15 L/ha	3,88 b	0,39 b	2,90 b

Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente por el test de Duncan al nivel del 95% de probabilidad.

Observando los niveles del SAR del suelo R se aprecia que éste presentaba la condición de ligeramente sódico, y después del lavado pasó a la

condición de suelo normal, para todas las dosis probadas. A pesar de que para las distintas dosis de polímero aplicadas se alcanzó la misma condición de SAR (suelo normal), se puede comprobar que las dosis más elevadas del polímero presentaron menores SAR que el testigo. El suelo PL presentaba un nivel de salinidad mediano, y un bajo nivel de sodicidad, pero después del lavado el SAR del suelo se redujo para todas las dosis, principalmente para las más elevadas. El suelo PB que antes del lavado era medianamente sódico, pasó a la condición de suelo normal después del lavado, para todas las dosis probadas, pero se puede ver que los SAR tienen distinto valor para cada una de las dosis.

Con el lavado del suelo hubo una gran lixiviación del sodio en el agua de drenaje, reduciendo drásticamente el SAR. Para los tres tipos de suelos estudiados las dosis más elevadas del polímero presentaron menor SAR, lo que permite suponer que han sido más eficientes en el lavado, lixivian-do una mayor cantidad de iones sodio. Según Pizarro (1976) cuando la solución del suelo se diluye, su SAR decrece y en consecuencia el porcentaje de sodio intercambiable también decrece, es decir, se favorece el paso de cationes divalentes de la solución al complejo de cambio, mientras que con los monovalentes ocurre lo contrario. En épocas de lluvia, cuando se producen fuertes lavados del suelo, los cationes monovalentes, y entre ellos el sodio, pasan a la solución y son eliminados por el agua del lavado.

Entre los cationes adsorbidos y aquellos que están en la solución del suelo existe un equilibrio dinámico, que se caracteriza por que los cationes pasaron continuamente de un medio a otro, aunque su cantidad total se mantenga constante. Por lo tanto, una modificación en la composición electrolítica de la solución del suelo repercute en la composición de los cationes adsorbidos, aunque en el suelo esa repercusión sólo se produce lentamente. Los distintos cationes presentan diferentes

capacidades de intercambio. La cantidad de cationes adsorbidos no es equivalente a la cantidad intercambiable. Los iones divalentes son generalmente más adsorbidos a las partículas de arcilla que los monovalentes. La energía con la que los cationes son adsorbidos es mayor cuanto mayor es la valencia de éstos. Los cationes adsorbidos con más energía tienden a desplazar del complejo de cambio a los otros, que pasan a la solución del suelo y por lo tanto pueden ser eliminados mediante lavados (Tan, 1992).

Las propiedades químicas del suelo dependen fundamentalmente de los coloides electronegativos, que son las arcillas el humus y los polímeros naturales y sintéticos. La aplicación de las dosis del polímero en el suelo debe haber aumentado la concentración de electrolitos en solución, que luego interactuaron con los iones Ca^{++} y Mg^{++} , que a su vez desplazaron los iones Na^+ del complejo argílico. Si se añade un ion soluble al suelo, su concentración aumenta en la solución, y éste tiende a ser adsorbido por el complejo de cambio. El anión asociado al catión reemplazante puede afectar al proceso de intercambio catiónico favoreciendo la reacción hacia su término, si los productos finales son más débilmente asociados o menos solubles o más volátiles. Los coloides de elevada densidad superficial de carga tienen generalmente mayor preferencia por cationes de carga elevada (Allison, 1956).

En el estudio de los suelos salino-sódicos es de mucha importancia el porcentaje que el sodio representa respecto a los demás cationes adsorbidos. La reducción de los niveles de sodio del suelo es una práctica imprescindible para la mejora de las condiciones físicas y químicas de los suelos salinos. Altos porcentajes de sodio en el complejo de cambio tienen un efecto importantísimo en el deterioro de la estructura del suelo, reflejado en la dispersión de las arcillas, lo que causa la reducción de la porosidad que a su vez reduce la tasa de infiltración y conductividad hidráulica del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLISON, L. E.** (1952). *Effect of synthetic polyelectrolytes on the structure of saline and alkali soils*. Soil Science. 73, 443-454.
- ALLISON, L. E.** (1956). *Soil and plant responses to VAMA and HPAN soil conditioners in the presence of high exchangeable sodium*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20, 147 - 151.
- BEN-HUR, M. Y KEREN, R.** (1997). *Polymer effects on Water infiltration and soil aggregation*. Soli Sci. Soc. Am. J. 61:565-570.
- EL MORSY, E.A. ; MALIK, M. AND LETEY, J.** (1991). *Polymer effects on the hydraulic conductivity of saline and sodic soil conditions*. Soil Science. 151(6), 430-435.
- HELALIA, A.M. AND LETEY, J.** (1989). *Effects of different polimers on seedling emergence, aggregate stability, and crust hardness*. Soil Science. 148(3),199- 203.
- KHAMRAYEV, S.S.; ARTYKBAYEVA, KH.YU.; TUYMETUVA, S.; NIZAMOVA, F.; AKHMEDOVA, V. Y AKHMEDOV, K.S.** (1982). *Effect of the chemical characteristics of a polymer on its conditioning capacity*. Translated from: Pochvovedeniye, 9: 129 -133.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN. METODOS OFICIALES DE ANALISIS. TOMO III.** Secretaria General Técnica. Madrid. 1994.
- MITCHEL, A.R.** (1986). *Polyacrylamide application in irrigation water increase infiltration*. Soil Science, 141, 353 - 358.
- PIZZARO, F.** (1976). *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. DNOCS, Fortaleza, Brasil. 466p.
- QUASTEL, J. H.** (1954). *Soli conditioners*. Annu. Rev. Plant Phisyol. 5: 75 - 92.
- RICHARDS, J. D.** (1973). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos*. Ed. Limusa, Mexico. 172p
- SHAINBERG, Y. AND LEVY, G. J.** (1994). *Organic polymers and soil sealing in cultivated soils*. Soil Science, 158, 267 - 273.