

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

“Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**CAMBIOS QUIMICOS PRODUCIDOS POR EL AGREGADO DE
YESO EN UN SUELO SALINO SODICO.**

**Alumno: NAZARIO, Juan Pablo
DNI: 29.226.046**

Directora : Lic. Ines Moreno
Co-Directora: Ing. Agr. Elena Bonadeo

**Río Cuarto – Córdoba
Julio de 2008**

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	6
SUMMARY	7
INTRODUCCION	8
HIPOTESIS Y OBJETIVOS	14
MATERIALES Y METODOS	14
Materiales.....	14
Métodos.....	17
RESULTADOS Y DISCUSION	19
Conductividad Eléctrica y pH	19
Dinámica del Calcio y Sodio en la solución del suelo.....	23
Dinámica del Calcio y Sodio intercambiable.....	27
Aspectos Metodológicos.....	31
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFIA	34
INFORMACION ANEXA	37

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Precipitaciones registradas en Villa María durante los años 2005 y 2006.....	15
Tabla 2. Características del suelo sin manchoneo	16
Tabla 3. Características del suelos con manchoneo.....	16
Tabla 4. Concentración de Ca^{++} y Na^+ soluble en el bloque I	23
Tabla 5. Concentración de Ca^{++} y Na^+ soluble en el bloque II.....	24
Tabla 6. Concentración de Ca^{++} y Na^+ soluble en el bloque III.....	25
Tabla 7. Concentración de Ca^{++} y Na^+ Intercambiable en el bloque I.....	28
Tabla 8. Concentración de Ca^{++} y Na^+ Intercambiable en el bloque II.....	29
Tabla 9. Concentración de Ca^{++} y Na^+ Intercambiable en el bloque III.....	29
Tabla 10. Corrección de los valores de Na^+ intercambiable más soluble a través de la determinación de iones solubles en extracto de saturación, en el bloque I, para el tratamiento testigo.....	32

INDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Valores de CE para los diferentes meses de muestreo. Profundidad 5-20 cm.....	19
Figura 2. Valores de CE para los diferentes meses de muestreo. Profundidad 40-55 cm.....	21
Figura 3. Variación del pH en función de los meses evaluados para las distintas dosis entre 5-20 cm de profundidad.....	22
Figura 4: Concentración de Na soluble en el tiempo. Profundidad de 5-20 cm.....	26
Figura 5: Concentración de Na soluble en el tiempo. Profundidad de 40 a 55 cm.....	26

INDICE DE FOTOS

	Página
Foto 1. Imagen del sitio de estudio.....	16

RESUMEN

En la cuenca lechera de Villa María (Córdoba) es común observar un crecimiento desparejo de los cultivos y pasturas, que se manifiesta en “manchones” de formas irregulares, límites definidos y superficie variable. Investigaciones realizadas han permitido identificar que los principales factores responsables de la afectación son los elevados contenidos de sodio y sales de los suelos. Para corregir los el contenido de sodio intercambiable se aplicó yeso en dos dosis definiendo tres tratamientos: Testigo -T- (sin aplicación), DA (2000 Kg. ha⁻¹) y DM (6000 Kg. ha⁻¹). El diseño estadístico fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. A lo largo de 23 meses se realizaron cuatro muestreos de suelo a tres profundidades, evaluándose C.E., pH, Na⁺ y Ca⁺⁺ soluble e intercambiable. Los resultados mostraron que la C.E. para la primera profundidad aumentó hasta los 12 meses después de aplicada la enmienda en DA, disminuyendo luego, hasta valores cercanos a los de T. En DM, después de transcurrido un año la C.E. supero los valores de T. En el tercer muestreo el pH de DA (6.46) y DM (6.70) disminuyó aproximadamente en una unidad respecto a T (7.23) y para DM se mantiene esta tendencia hasta el cuarto muestreo. El Ca soluble aumentó en DA y DM respecto a T, hasta aproximadamente un año después de agregado el yeso, acercándose a los 23 meses a los de T. El sodio soluble en las dos primeras fechas de muestreo aumentó en DA, respecto a T, unas 5 veces aproximadamente. En DM la mayor concentración de Na⁺ soluble en la capa de 40-55 cm (datos no mostrados), pondría en evidencia que el Na⁺ desplazado del complejo de cambio está siendo lixiviado. El Na intercambiable fue sensiblemente menor en DA, y más aún en DM. Respecto al Ca intercambiable se observa un aumento del mismo en DM. Es necesario continuar estudiando la evolución de estos parámetros ante futuros agregados de yeso.

Palabras Claves: suelo sódico – yeso – cambios químicos.

SUMMARY

In the basin dairy Villa Maria (Cordoba) is common to see an uneven growth of crops and pastures, which manifests itself in "patches" Irregularly shaped, defined limits and variable surface. Investigations have identified as major factors responsible for the disruption is high sodium and salt content of soils. To correct the high content of exchangeable sodium gypsum was applied in two doses. It identified three treatments: Witness-T (without application), DA (2000 Kg. Ha⁻¹) and DM (6000 Kg. Ha⁻¹). The experimental design was a randomized complete block with three replications. Over 23 months, four sampling three depths evaluated CE, pH, Na⁺ and Ca⁺⁺ soluble and exchangeable. The results show that CE for the first depth increased to 12 months after the amendment applied in DA, then declining, to values close to those of T. In DM after one year this variable begins to exceed T. In the third sample pH DA (6.46) and DM (6.70) decreases roughly one unit to T (7.23), DM for this trend continues until the fourth sampling. The soluble Ca increased by DA and DM regard to T until about a year after adding gypsum, nearing their 23 months of the T. The soluble sodium in the first two sampling dates and in DA rose, with respect to T, about 5 times or so. In DM higher concentrations of Na⁺ soluble layer of 40-55 cm (data not shown), would highlight that the Na⁺ shifted complex change is being leached out. The exchangeable Na manifested significantly lower in DA, and even more so in DM. Regarding the exchangeable Ca shows an increase of itself in DM. There is a need to continue to study the evolution of these parameters to future agregate plaster.

Key Words: soil sodium – gypsum – chemical changes.

INTRODUCCION

En la cuenca lechera de Villa María (Córdoba) es común observar un crecimiento desparejo de los cultivos y pasturas, que se manifiesta en “manchones”, fenómeno citado en la Hoja Villa María de la Carta de Suelos de la República Argentina (INTA, 1987). Una de las especies que manifiesta en forma notoria este fenómeno es la alfalfa (*Medicago sativa* L.), pastura fundamental en los sistemas de pastoreo de la cuenca. Los manchones, de formas irregulares y límites definidos, son de superficie variable, aumentando la misma en el ciclo de la pastura. Se visualizan por la menor altura de las especies productivas y producción de materia seca, llegando incluso a disminuir la cantidad de plantas en el área afectada, situación que provoca un importante aumento de malezas (Hampp *et al.*, 2004).

En un sentido regional, los suelos de los sectores planos o ligeramente deprimidos son similares a los de los sectores más altos, pero con la presencia de elevados contenidos de sales y/o sodio (Na^+) a diferentes profundidades, siendo en éstos donde se manifiesta el “manchoneo” típico del área (Jarsun, 1996).

Investigaciones realizadas en el área citada precedentemente han permitido identificar los principales factores responsables de la afectación obteniéndose como resultado que la principal causa del fenómeno es el elevado contenido de sales y sodio de los suelos (Bonadeo *et al.*, 2001).

Estas concentraciones exceden los niveles de tolerancia de la pastura de alfalfa afectando el comportamiento de raíces y parte aérea (Bonadeo *et al.*, 2002). Sin embargo, cabe destacar, que los elevados valores de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) no afectan el desarrollo radical de manera directa (Bressler *et al.*, 1982), pero generan un estado de dispersión coloidal que influye sobre la dinámica hídrica del perfil, limitando el descenso del frente salino. Por otra parte, valores de pH cercanos a 9, afectan la disponibilidad de nutrientes (Tisdale *et al.*, 1993).

Al respecto Yagodin *et al.* (1986) afirman que los suelos solonetz rara vez ocupan extensos macizos, mas bien se encuentran en forma de manchas de diferentes tamaño, desde unos metros hasta cientos de metros en sección transversal.

Ponce y Torres Duggan (2005) expresan que el proceso de sodificación del perfil determina una degradación de la estructura del suelo, expandiendo el sistema coloidal y reduciendo y/o eliminando la macro y meso-porosidad provocando el encostramiento superficial que altera la dinámica del agua y aireación del suelo, siendo el efecto más relevante la reducción de la infiltración y permeabilidad del suelo que determina muchas veces procesos de anegamiento, erosión por escorrentía en suelos con pendiente entre otros.

Barreto Filho *et al.*(2003) observaron una visible disminución de la conductividad hidráulica final del suelo con el aumento del PSI. Los mismos autores citan a McNeal &

Coleman (1966), Frenkel *et al.* (1978) y Park & O'Connor (1980) quienes también reportaron una reducción de la conductividad hidráulica con el aumento del PSI postulando que esta reducción puede deberse a la expansión y/o dispersión de las arcillas con la consiguiente obstrucción de los poros conductores del suelo.

En cuanto a los efectos sobre la actividad microbiana y disponibilidad de nutrientes, la alcalinidad de los suelos determina una reducción de la actividad biológica, fundamentalmente en lo que respecta a la actividad fúngica y bacteriana. Uno de los efectos negativos más significativos en términos agronómicos es la reducción de la actividad nitrificadora y la alteración consiguiente del ciclo del N en el agro-ecosistema. El elevado nivel de pH altera los ciclos biogeoquímicos de los principales nutrientes esenciales para las plantas. Así, con pH superiores a 8.5 se reduce considerablemente la biodisponibilidad del P, de los microelementos metálicos como el Fe, Cu, Zn, Mn y del B. La eficiencia de la fertilización nitrogenada con fuentes amoniacales o amídicas (urea) se reduce notablemente en suelos alcalinos por las pérdidas de N por volatilización (Ponce y Torres Duggan, 2005).

Niborski (2000), citado por Ponce y Torres Duggan (2005) sostiene con respecto a la toxicidad específica de sodio, que existe gran variación en la capacidad de distintas especies vegetales de tolerar al ión sodio en exceso. La mayoría de las especies arbóreas (frutales y forestales) son particularmente sensibles aún con bajas concentraciones de sodio. Los cultivos anuales son en términos generales mucho más resistentes a la presencia de sodio, si bien muchos de ellos son afectados por altas concentraciones de éste. Los síntomas de toxicidad se manifiestan como un quemado o desecamiento de tejidos en el borde externo de las hojas progresando hacia el centro de las mismas. La toxicidad por Na^+ se ve disminuida y hasta eliminada por la presencia de adecuadas cantidades de calcio.

En cuanto a los efectos de las sales Pearson y Bauder (2003) sostienen que la salinidad se convierte en un problema siempre y cuando haya acumulación de sales en la zona radical afectando negativamente el crecimiento de las plantas. El exceso de sales en la zona radical obstaculiza la absorción de agua por parte de las raíces, independientemente de la cantidad de agua que exista. La razón es que el exceso de sales en el agua del suelo puede disminuir el agua disponible para las plantas y causar estrés en las mismas. La salinidad del agua del suelo puede afectar las propiedades físicas debido a la unión de las partículas finas en agregados. Este proceso se conoce como floculación y es beneficioso para la aireación del suelo, penetración y crecimiento de raíces. Por otro lado, altos niveles de salinidad pueden tener efectos negativos y potencialmente letales sobre las plantas. En resumen la salinidad no puede ser incrementada para mantener la estructura del suelo sin considerar impactos potenciales sobre la salud de la plantas.

Porta Casanellas *et al.* (1994) hace referencia a dos efectos producidos por el exceso de sales; un efecto osmótico donde las mismas hacen disminuir el potencial osmótico del agua del suelo (en valor absoluto va siendo cada vez mayor) y además inhibe el crecimiento y puede haber paso de agua de la planta al suelo (plasmólisis), y un efecto ion-específico donde aumenta la concentración de algunos iones que afectan la fisiología de la planta, por resultar tóxicos o provocar desequilibrios en el metabolismo de nutrientes.

Desde el punto de vista de la recuperación, siempre es mucho más sencillo mejorar los suelos salinos que aquellos con características sódicas. Mientras que los primeros pueden recuperarse con lavados, los sódicos precisan a su vez una enmienda que provea calcio (Ca^{++}) (Sánchez y Curetti, 2003).

Para la recuperación de suelos salinos es necesario el lavado de las sales, mediante el cual, o son transportadas a horizontes más profundos de los explorados por las raíces de las plantas, o son evacuadas a otras zonas, por medio de drenes. Las zonas receptoras no deben ser sensibles a la contaminación originada (Dorransoro, 2005).

En la práctica, la corrección de suelos sódicos o alcalinos es posible de manejar con diversas técnicas por medio de correctivos químicos o biológicos. Las mismas son utilizadas mayoritariamente para la rehabilitación de terrenos con fines de riego, luego de que han sido eliminadas las sales del perfil mediante la técnica del lavado (Garavito Neira, 1980).

Los correctivos químicos se aplican a los suelos con problemas de sodio con el fin de que la enmienda en sí o los productos de su reacción en el suelo, desplacen el Na^+ intercambiable el cual debe pasar a la solución para ser eliminado cuando se aplique el agua de lavado. Además, los productos que se apliquen deben tener cierto carácter ácido con el fin de que contribuyan al descenso del pH. Las sustancias corrientemente empleadas son: azufre, ácido sulfúrico, sulfato de calcio, polisulfuro de calcio, sulfato de hierro, sulfato de aluminio y cloruro de calcio (Garavito Neira, 1980).

El cloruro de calcio es de acción rápida y muy eficaz pero debido a su alto costo rara vez se lo utiliza. Los sulfatos de hierro y aluminio son también de acción rápida pues se combinan con el agua casi de inmediato pasando a formar ácido sulfúrico pero económicamente no son muy convenientes. El ácido sulfúrico es de acción rápida y bastante más barato que los anteriores. Por su costo relativamente bajo, el yeso y el azufre son los mejoradores más usados para rehabilitar suelos alcalinos. Necesita además la presencia de una buena lámina de agua de riego. El azufre necesita ser oxidado primero por la acción microbiana hasta llegar a la forma de sulfato, por lo tanto se lo clasifica como mejorador de acción lenta. Se debe tener en cuenta, tanto en el caso de azufre como del yeso, el tamaño de partícula, a menor tamaño más rápida

reacción. El polisulfuro de calcio, debe como el azufre oxidarse primero hasta ácido sulfúrico para ser activo, por lo tanto es de reacción lenta (Colacelli, 2003).

Con respecto a los métodos biológicos, los mismos consisten en la aplicación de materiales orgánicos preferentemente con una relación C/N alta. Estos materiales aplicados, o por siembra de cultivos tolerantes, deben aportar grandes cantidades de material, para mejorar las condiciones físicas de los suelos sódicos (estructura). La descomposición (previa incorporación al suelo) de ese material orgánico produce grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), que ayuda a movilizar el Ca⁺⁺ a través de la combinación con el agua (hidrólisis) del calcáreo presente en el suelo. Este calcio reemplaza al Na⁺ del suelo trayendo aparejado todas las mejoras en las propiedades físicas que ello supone. La siembra de especies tolerantes a suelos sódicos ejerce además de la acción de la materia orgánica, el efecto físico de las raíces de las plantas que ayudan a la lixiviación, mejorando el movimiento de agua, elemento fundamental en la recuperación de este tipo de suelos, lo que ayuda a la eliminación de las sales (Colacelli, 2003).

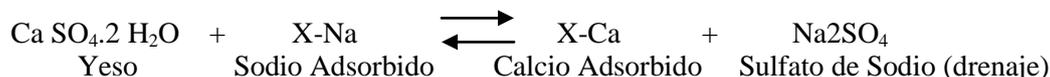
El yeso (CaSO₄.2H₂O) ha sido utilizado por muchos años con variado éxito como fuente de Ca⁺⁺ para reemplazar al Na⁺ del complejo de cambio, y con ello recuperar suelos sódicos (Bressler *et al.*, 1982). Posee por objetivo la neutralización de los suelos alcalinos y salinos, como también mejorar la permeabilidad de los materiales arcillosos, además de aportar azufre. . También contribuye a mejorar la estructura del suelo y las condiciones de irrigación, a la vez que modifica el pH del mismo. Otro efecto benéfico es la estabilización de la materia orgánica y la disminución de la toxicidad de los metales pesados. Todo ello conduce a incrementar la productividad de los cultivos (Ponce y Torres Duggan, 2005).

El yeso agrícola es posible utilizarlo tanto como fertilizante azufrado como corrector de suelos sódicos. Una de las propiedades más destacables del yeso es su solubilidad en agua pura (2.5 g/l a 25°C), considerablemente mayor que la de la calcita, pero mucho menor que las sales solubles (Porta *et al.*; 2003). Además de proveer calcio soluble (Ca⁺⁺), aporta sulfatos disponibles para las plantas (Harris, 2001). El yeso agrícola en su forma mineralógica pura (sulfato de calciodihidratado) contiene 18.6% de S y 23% de Ca (Ponce y Torres Duggan, 2005).

Como ya se expresó precedentemente, la aplicación de yeso permite desplazar el Na⁺ adsorbido en las arcillas del suelo. Una vez que la enmienda entra en contacto con la masa de suelo, comienza a reaccionar y actuar el yeso como corrector. Luego de la aplicación se produce una reducción progresiva del pH como consecuencia de un fenómeno de intercambio iónico a nivel de las arcillas. El Ca⁺⁺ aportado por el yeso, por tener mayor preferencia de adsorividad y además por un efecto de concentración (incremento de la concentración de iones Ca⁺⁺ provocado por la aplicación de la enmienda), va reemplazando progresivamente a los cationes

Na⁺. Por ello, para lograr la rehabilitación del suelo, es necesario que el sulfato de sodio generado en la reacción de intercambio sea lavado fuera del sistema suelo, ya sea a través de la acción pluvial (en zonas con balances hídricos positivos) o a través de sistemas de drenaje en el caso de que sea rentable efectuarlos (Niborski, 2000).

La reacción teórica global de intercambio iónico del yeso en el suelo es:



Las dosis de aplicación de la enmienda dependen de varios factores, entre ellos: tipo de suelo (textura y capacidad buffer), origen de la alcalinidad (genético, antrópico, etc.), nivel de PSI y objetivo de reducción del mismo, cultivo a implantar, etc. (Ponce y Torres Duggan, 2005).

Existen diferentes formas de aplicación. Si bien el agregado en superficie generalmente incrementa la tasa de infiltración y mejora los suelos sódicos, dicho proceso ocurre con cierta lentitud debido a la baja solubilidad y movilidad de la enmienda, por tanto, la incorporación del yeso al suelo acorta el tiempo desde la aplicación a la aparición del efecto. El incremento de la infiltración por la enmienda se debe a un aumento de la concentración de electrolitos bivalentes Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ en la solución del suelo y que reemplazan al Na⁺ intercambiable. (Bressler *et al.* 1982).

Numerosos investigadores obtuvieron resultados similares luego de la aplicación de yeso. Ilyas *et al.* (1993) informan sobre una experiencia realizada en un Natrustalf típico de las planicies de Pakistán. Luego del agregado de yeso en parcelas con distintos cultivos, concluyen que la conductividad hidráulica a saturación (Ks) en las parcelas con yeso más alfalfa fue significativamente mayor hasta los 80 cm, que las parcelas en barbecho más yeso, con lo cual los autores sugieren que la recuperación es mayor debido al efecto de las raíces de los cultivos. Por otra parte, Ilyas *et al.* (1993) trabajando sobre el mismo suelo e idénticos tratamientos al anteriormente citado encuentran que el agregado del correctivo químico, después de un año, produjo una disminución de la conductividad eléctrica (CE), del Na⁺ soluble, de la “relación de adsorción de sodio” (RAS) y del pH. Además, el lavado de sales solubles en el período de tiempo citado, fue mayor en las parcelas bajo cultivos enmendadas con yeso, que bajo barbecho. Los autores atribuyen estas diferencias a un incremento en la macroporosidad por efecto de las raíces, lo que contribuye al flujo de agua.

Pal *et al.* (2006) informan que la liberación de iones desde modificadores de suelos, tales como las zeolitas cálcicas y el yeso previenen el aumento de pH y del PSI, modificando las propiedades hidráulicas.

Quintero *et al.* (2003) trabajando sobre un Argiudol vértico, disperso, afectado por Na^+ , con baja salinidad y pH neutro concluyen que la enmienda con yeso representa una alternativa adecuada para corregir problemas de suelos dispersivos y que mediante la disminución del Na^+ intercambiable, se produjo una recuperación en las condiciones físicas del suelo, repercutiendo en un incremento de la productividad de forraje y posibilitando una mejor utilización del fertilizante por parte del cultivo. Además quedó evidenciada la mejora del sistema poroso del suelo, por adición de yeso, por el cambio producido sobre la estabilidad estructural y por el aumento en la mineralización de la materia orgánica.

Se entiende que la aplicación de esta enmienda implica mejorar las condiciones físicas del suelo a través de la floculación del coloide y las químicas por la modificación del pH del suelo y la eliminación de Na^+ y de las sales por lavado (Moreno *et al.* 2006).

Como se mencionó al inicio de este capítulo una importante superficie de la Cuenca de Villa Maria se encuentra afectada por problemas de sodicidad y/o salinidad. Esta situación amerita un estudio de la influencia de una enmienda con sales de calcio, particularmente en áreas donde el PSI es elevado, la solución del suelo tiene un escaso contenido salino y es notable la manifestación de “manchones” en pasturas y cultivos.

HIPOTESIS

El agregado de una fuente de calcio disminuye la cantidad de sodio adsorbido al coloide, al ser reemplazado por el calcio de la enmienda, y se modifica la composición de la solución del suelo. La intensidad de los cambios depende de las precipitaciones y del tiempo transcurrido desde la aplicación de la enmienda.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es evaluar la modificación de la composición cálcica y sódica del complejo de intercambio y de la solución del suelo debido a la aplicación de distintas dosis de calcio.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar el estado inicial del coloide y de la solución del suelo.
- Cuantificar periódicamente la evolución del contenido de sodio y calcio del complejo de cambio.
- Determinar la variación del contenido de sodio y calcio en la solución del suelo.
- Evaluar Conductividad Eléctrica y pH.

MATERIALES Y METODOS

1-Materiales

Área de estudio

-Rasgos Fisiográficos

El área de Villa Maria, esta comprendida dentro de la unidad geomorfológica denominada Pampa loessica plana, ubicada en el centro Este de la llanura Cordobesa.

Este ambiente fisiográfico posee las siguientes características generales:

- Relieve muy plano con pendiente regional hacia el Este no mayor al 0.5%.
- Capa de agua subterránea o freática que afecta las áreas cóncavas en mayor o menor medida por su presencia. Los suelos en estas depresiones presentan problemas de drenaje, sodificación, salinización y cementación en profundidad. La napa freática oscila hasta los 2,30 metros de profundidad.

• En el límite occidental de esta unidad, por efecto de la disminución de la pendiente regional, se abren en forma de abanicos las antiguas fajas o derrames del Río Tercero. En ellas se encuentra gran variedad de formas fluviales sedimentarias, tales como albardones, planicies de inundación, derrames y paleocauces. Dentro de este ultimo se incluyen el Arroyo Cabral, Arroyo Las Mojarras, Arroyo Algodón, etc., que suelen reactivarse en épocas de fuertes lluvias o crecientes del Río Tercero.(INTA, 1987)

-Régimen térmico

El régimen térmico de esta localidad es templado, su temperatura media anual es de 16.05 °C y resulta característica de la zona central de la pradera pampeana, con una amplitud térmica aproximada entre el mes mas cálido (enero) y el mas frío (julio) de 14.5 °C. (INTA, 1987).

-Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico de Villa Maria es del tipo monzónico ya que las lluvias de los seis meses estivales (octubre a marzo = 587 mm.), prácticamente triplican largamente a las del semestre invernal (abril a septiembre =192 mm.).

La precipitación media anual es de 799 mm. Los meses más lluviosos son diciembre, enero, marzo y los más secos junio, julio, agosto. En la tabla 1 se informan los valores de precipitaciones mensuales registradas durante el periodo en que se realizó el trabajo.

Tabla 1. Precipitaciones registradas en Villa María durante los años 2005 y 2006

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
2005	143	87	124	57	14	5	15	16	42	71	93	72	739
2006	88	153	79	165	0	4	0	0	2	51	83	155	778

Fuente: INTA Villa Maria (comunicación personal).

-Suelos

En el sector estudiado, los suelos son Haplustoles típicos, con fases por alcalinidad y salinidad (Hammp, comunicación personal).

En las tablas 2 y 3 se observan las principales características morfológicas y analíticas del suelo en situación “Normal” (N) y “Manchón” (M), respectivamente en la foto 1 se aprecia una imagen de la distribución espacial en el lote estudiado.

Tabla 2. Características del suelo sin manchoneo (N)

Horiz	Prof. (cm.)	Estructura (Tipo)	Textura	MO (%)	CIC cmol/ Kg	Na ⁺ Cmol/kg	PSI	pH
A	0-26	Bloques Subangulares	Franco Limosa	2.64	12.6	0.3	2.4	6.88
Bw1	26-37	Bloques Subangulares	Franco Limosa	1.32	14.3	1.8	12.5	7.8
Bw2	37-55	Bloques Subangulares	Franco Limosa	1.16	14.3	1.9	13,3	8.62
BCK	55-90	Bloques Subangulares	Franco Limosa	0.95	13	2	15.4	9.33
Ck	90	Masivo	Franco Limosa	0.84	10.9	4.3	39.7	9.56

Tabla 3. Características del suelos con manchoneo (M)

Horiz	Prof. (cm.)	Estructura (Tipo)	Textura	MO (%)	CIC cmol/ Kg	Na ⁺ cmol/Kg	PSI	pH
A	0-24	Bloques Subangulares	Franco Limoso.	2.37	11.7	1.5	12.8	7.35
Bw	24-43	Bloques Subangulares	Franco Limoso	0.99	13.4	4.4	32.8	8.5
Bwk	43-66	Bloques Subangulares	Franco Limoso	0.93	12.6	5.3	42	9.83
Ck	66	Masivo	Franco Limoso	0.63	13	6.3	48.4	9.85



Foto 1. Imagen del sitio de estudio.

Enmienda Utilizada

La enmienda cálcica que se utilizó fue yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) con pureza del 67 %, aplicada al voleo en el mes de enero de 2005, en los sectores con manchoneo.

2-Métodos:

Se definieron tres tratamientos en el área afectada: Testigo -T- (sin aplicación), Dosis Agronómica -DA- (2000 Kg. ha^{-1}) y Dosis Máxima -DM- (6000 Kg. ha^{-1}). La mayor dosis se aproximó utilizando el método propuesto por Yágodin *et al.* (1986), en tanto que para la dosis menor se tuvieron en cuenta aspectos prácticos, relativos a la facilidad de aplicación y aspectos económicos. Para el cálculo de DM se tuvo en cuenta el horizonte Bw del suelo con manchones que se encuentra entre 24 y 45 cm de profundidad. La CIC es de 13,4 meq. y el PSI es de 32,8 y se desea llevar a un PSI de 15 ($\Delta \text{PSI}=17,8$). Se asume que el peso de la capa es de 2.000.000 kg.

$$\text{Na}^+ \text{ int}(\text{meq}/100\text{g}) = \frac{\Delta \text{PSI} * \text{CIC}}{100} =$$

$$\frac{17,8 * 13,4}{100} = 2,38 \text{ meq}/100 \text{ gr}$$

$$2,38 \text{ meq Na}^+ = 2,38 \text{ meq CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ meq de CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,086 \text{ gr}$$

Por lo tanto, para sustituir 2,38 meq Na^+ en 100 g de suelo se necesitará:

Yeso: $2,38 * 0,086 \text{ g}/100\text{g}$

y para una hectárea ($2 * 10^9 \text{ gr}$):

$$\frac{2,38 * 0,086 * 2 \cdot 10^9}{100} = 4,09 \text{ tn/ha}$$

Teniendo en cuenta que el cálculo se realiza en base a yeso con 100 % de pureza y que el utilizado presenta una pureza de 67 %, se necesitarán 6 tn para llevar el PSI a un valor de 15 %.

Las superficies de las parcelas experimentales fueron mayores a 25 m^2 para evitar la influencia de los bordes y poder realizar los muestreos correspondientes sin afectar la evolución del yeso.

El diseño estadístico fue en bloques completos al azar con tres repeticiones.

En cada tratamiento, se tomaron muestras de suelo entre 5-20 cm, 40-55 cm y 80-100 cm. cada cuatro meses en cuatro oportunidades. Estas profundidades fueron determinadas con base en los diferentes horizontes y en la dinámica salina, según trabajos preliminares (Bonadeo *et al.*; 2002; Hampp *et al.*; 2004). En el presente trabajo solo se presentan los resultados correspondientes a las dos primeras profundidades.

En el tratamiento testigo de la situación normal y manchón, y con el fin de lograr una caracterización general del suelo en cuestión se llevaron a cabo las siguientes determinaciones (tablas 2 y 3):

- *Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*: Por saturación del complejo de intercambio con sodio y determinación de éste por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) (Page, 1982).
- *Bases Intercambiables* por desplazamiento con acetato de amonio y determinación por EAA, (Page, 1982) al inicio de la experiencia.
- *Materia Organica*, método Mebius (Page, 1982)
- *pH*, método potenciométrico.

Luego de la aplicación de la enmienda en el mes de Enero de 2005, se realizaron las siguientes determinaciones a los 8 meses (08/08/05), 12 meses (23/12/05), 16 meses (20/04/06) y 23 meses (25/11/06):

- *Calcio y Sodio en el extracto de saturación* (Richards, 1973). Determinación por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA)
- *Calcio y Sodio intercambiables* por desplazamiento con acetato de amonio y determinación por EAA (Page, 1982).
- *pH en pasta saturada*, método potenciométrico.
- *Porcentaje de agua a saturación*, método gravimétrico.
- *Conductividad Eléctrica en Extracto a Saturación*, método conductimétrico.
- Paralelamente, se llevo un registro de las precipitaciones.

Análisis estadísticos de datos:

Se realizó análisis de la varianza, mediante Infostat (versión 2004) y separación de media mediante el Test LSD Fisher.

RESULTADOS y DISCUSION

Mediante la aplicación del análisis de la varianza se comparó el Ca^{++} y Na^+ soluble y el Ca^{++} y Na^+ intercambiable en los tres tratamientos, para las tres profundidades en las cuatro oportunidades de muestreo.

Para Ca^{++} soluble y en las profundidades de 5-20 cm y de 40-55 cm, se encontraron diferencias significativas entre bloques, del I respecto al III para la primera profundidad y del I respecto al II y al III para la segunda, y entre DM respecto a T y DA y también entre dosis. En cuanto al Na^+ soluble para la profundidad de 40-55 cm el bloque III presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto al I y al II (ver anexo I).

Con respecto a los resultados del análisis estadístico para los iones intercambiables analizados, para Ca^{++} no se encontraron diferencias significativas, y para Na^+ sólo en la segunda profundidad muestreada, el bloque III, respecto al II y al I.

Si bien la estadística no arrojó siempre resultados satisfactorios los resultados obtenidos permitieron analizar las tendencias encontradas durante el desarrollo de la experiencia, es decir, discutir los resultados obtenidos en cada uno de los bloques.

Conductividad Eléctrica y pH

La figura 1 muestra la variación de la CE en el tiempo, para los tres tratamientos, para la primera profundidad analizada (5-20 cm).

En lo que respecta al comportamiento de esta variable es de esperar que la misma, en principio, aumente debido a la solubilización de la sal agregada. La línea obtenida para T muestra la variación natural de la CE, con el tiempo, en la situación estudiada.

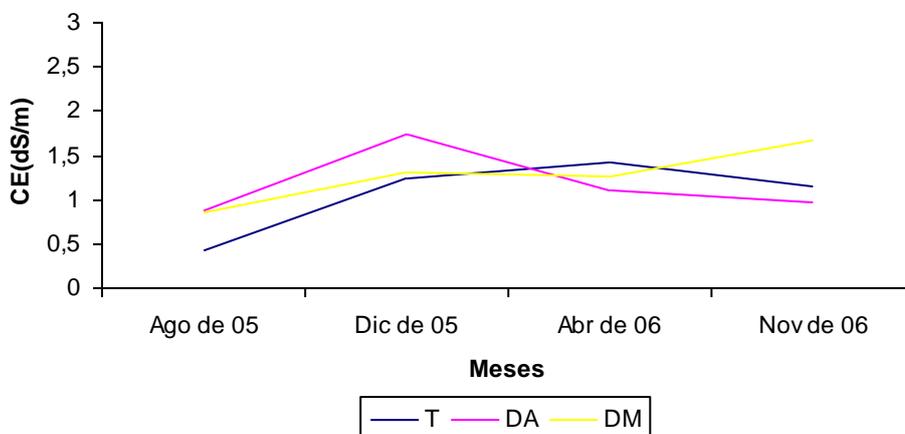


Figura 1. Valores de CE para los diferentes meses de muestreo. Profundidad 5-20 cm.

Durante el tiempo que duró la experiencia hubo una tendencia a un aumento de la CE en DA, hasta los 12 meses después de aplicada la enmienda, disminuyendo luego, a medida que el tiempo transcurrió. Por el contrario en DM luego del año y medio la CE comenzó a superar los valores de T. Esto puede deberse a que la mayor dosis de yeso mejoró la permeabilidad de esta capa permitiendo que el SO_4Na_2 formado por acción de la enmienda, se lixivie a capas subyacentes, en un corto tiempo, originando una mayor CE en ellas (ver figura 2) este comportamiento también se observa en la evolución del Na^+ en solución (ver tablas 6, 7 y 8).

Los valores registrados obedecen, no solo a la cantidad de yeso agregada, sino también a la cantidad y momentos de ocurrencia de las precipitaciones. Si bien no se cuentan con valores mensuales de CE, se pueden relacionar los valores obtenidos en los meses de muestreo con las precipitaciones acontecidas en estos períodos. Desde agosto a diciembre de 2005 la precipitación fue de 278 mm, siendo este último mes el momento en el cual se obtuvieron los mayores valores de CE, siendo más notorio este aumento en DA.

Posteriormente, entre diciembre de 2005 y abril de 2006 se registraron 485 mm, con los mayores valores ocurridos en los meses de febrero y marzo y con balance hídrico negativo. En el tercer muestreo (abril de 2006) los valores de CE de los tres tratamientos tienden a igualarse.

Finalmente a los 23 meses de muestreo los valores de CE, para T y DA se aproximaron, en tanto que en DM fue mayor lo que conduce a pensar que continúa la disolución del yeso.

Cisneros *et al.* (1998) informaron al respecto, que la CE aumentó con la aplicación de enmiendas de yeso, caliza o azufre dado que se suman más sales al perfil, pero esto no es una condición perjudicial para los cultivos.

Para la profundidad de 40-55 cm (figura 2) la CE muestra un comportamiento diferente para DA, con respecto a T y DM, en el primer muestreo. Así, DM y T registraron valores de 3,6 dS/m y 2,8 dS/m respectivamente, luego disminuyeron a los 12 meses de tratamiento, alcanzando valores de 2,5 dS/m para DM y 2,2 dS/m para T, mientras que en iguales momentos DA presentó una CE de 1,8 dS/m y 4,2 dS/m respectivamente;

Luego a partir del mes de abril de 2006 (16 meses de muestreo) DM registra un pico llegando a un valor de 4,6 ds/m, posiblemente debido al descenso de SO_4Na_2 desde capas superiores.

Al finalizar el período de muestreo tratamiento donde finalizó el muestreo, DA se mantuvo en el mismo valor, mientras que T y DM tendieron a disminuir a valores menores que los registrados en los 16 meses de tratamiento.

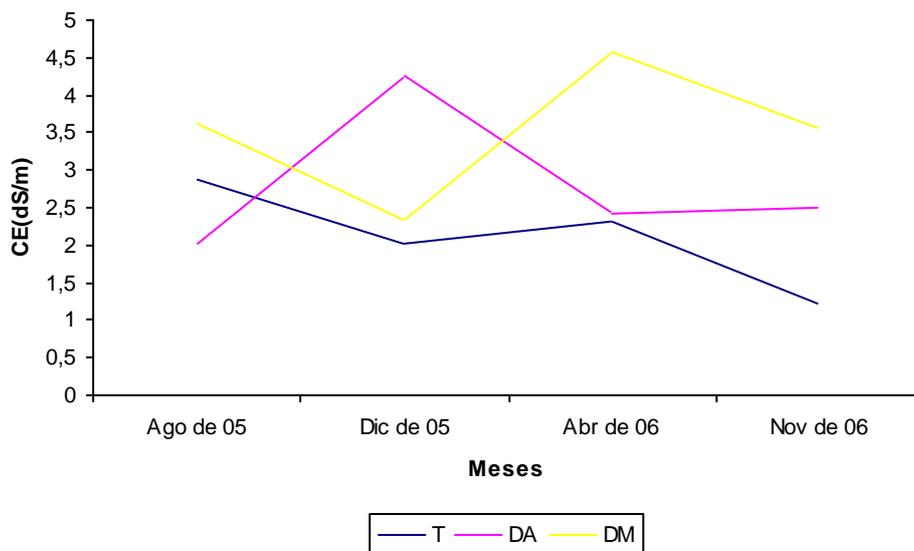


Figura 2. Valores de CE para los diferentes meses de muestreo. Profundidad 40-55 cm.

La figura 3 muestra la variación de pH promedio, para todos los tratamientos, en las cuatro oportunidades de muestreo, para la profundidad de 5-20 cm. De la misma se desprende que las tendencias de las líneas son similares en los tres tratamientos hasta transcurridos 12 meses de agregado de la enmienda, en tanto que los valores obtenidos en los dos últimos muestreos arrojaron diferencias significativas con respecto a los dos meses que los anteceden (Anexo III).

Analizando las tendencias en los valores obtenidos se observa que en agosto de 2005 y diciembre de 2005, para DM los valores de pH registrados fueron 8.25 y 8.18 respectivamente, valores levemente superiores a los obtenidos para DA y T donde los mismos fueron de 8.13 y 8 y 8,07 y 8,02 para idénticos momentos, respectivamente.

En el muestreo de abril de 2006 el pH de los tratamientos con agregado de enmienda disminuyó aproximadamente en una unidad respecto a T donde se registró un valor de 7.23, mientras que para DA fue de 6.46 y para DM 6.7. En DM, se mantuvo esta tendencia hasta noviembre de 2006 donde el valor de pH fue de 6.83, lo que guarda relación con la disminución del Na^+ soluble en DM (ver tabla 4). En DA y T se obtuvieron valores similares (7.08 y 7,03, respectivamente).

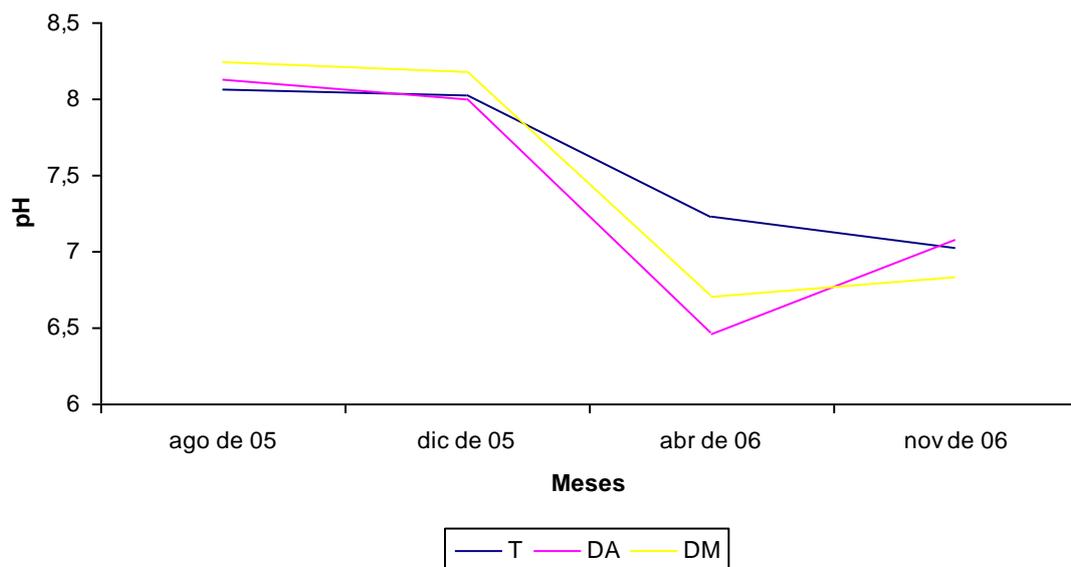


Figura 3. Variación del pH en función de los meses evaluados para las distintas dosis entre 5-20 cm de profundidad.

Para la profundidad de 40 a 55 cm, en abril de 2006, los valores de pH fueron 8,9 para T, 8,58 para DA y 8,68 para DM, similares a los obtenidos en noviembre de 2006 (8,75 para T, 7,08 para DA y 8,32 para DM). Al cabo de 23 meses el valor de DA se iguala a de T mientras que DM es levemente inferior.

Esto coincide con lo encontrado por Moreno *et al.* (2006), quienes obtuvieron resultados similares en la misma área de estudio del presente trabajo, donde en promedio el agregado de la enmienda cálcica provocó una disminución del pH en todas las profundidades evaluadas. Rengasamy y Olsson (1991), informan que la aplicación de yeso a un suelo sódico neutral, disminuyó el pH entre 0,5 y 1 unidad a una profundidad de 0 a 20 cm, debido a efectos de fuerzas iónicas que favorecen la formación de complejos de cationes con el ión sulfato (SO_4^{-2}) conduciendo a la reducción del pH.

Por su parte, Quintero *et al.* (2003), en una experiencia realizada sobre un Argiudol vértico, disperso, afectado por sodio, con baja salinidad y pH neutro, informaron que la adición de yeso provocó una disminución significativa del pH a los 5 meses ($P < 0.012$) e incluso al año ($P < 0.111$), indicando la continuidad de la hidrólisis del yeso aplicado, con la consecuente liberación de electrolitos acidificantes a la solución del suelo, sin diferencias significativas entre las dosis de yeso utilizadas. A los dos años, la acción de la enmienda cálcica disminuyó marcadamente, posiblemente por un agotamiento de la misma, con la consiguiente disminución de la liberación del anión sulfato principal responsable de la reducción del pH provocada por el agregado de yeso.

Dinámica de Ca⁺⁺ y Na⁺ en la solución del suelo.

Calcio Soluble

Las Tablas 4, 5 y 6 muestran la concentración de Ca⁺⁺ y Na⁺ soluble para los tres bloques y tratamientos en las cuatro fechas de muestreo. Las mismas se presentan separadas debido a las diferencias encontradas en las determinaciones analíticas entre bloques, lo que evidenció la alta heterogeneidad espacial de los suelos que presentan esta problemática, en el área bajo estudio. El análisis estadístico reflejó esta condición encontrándose coeficientes de variación elevados, tanto para Ca⁺⁺ como para Na⁺ soluble, que no permitieron encontrar diferencias significativas.

Tabla 4. Concentración de Ca⁺⁺ y Na⁺ soluble en el bloque I

Bloque I	Testigo		Dosis Agronómica		Dosis Máxima	
	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)
Prof. 5-20 cm.						
08/08/2005	2.35	5.78	10.85	25.91	11.09	2.61
23/12/2005	2.67	6.85	16.12	24	27.03	11.89
20/04/2006	2.02	9.02	3.15	5.3	5.42	3.58
25/11/2006	5.17	8.82	4.15	2.97	7.22	2.82
Prof. 40-55 cm.						
08/08/2005	1.82	31.3	1.82	39.24	23.77	54.82
23/12/2005	1.95	25.56	1.52	47.89	24.52	57.67
20/04/2006	1.89	45.3	1.62	20.02	3.27	45.17
25/11/2006	1.77	32.19	2.02	31.06	11.37	36.15

En el bloque 1, y para la profundidad de 5 a 20 cm, a los 8 meses de agregado el yeso y con una precipitación de 461 mm, el Ca⁺⁺ soluble aumentó en DA y DM respecto a T, aproximadamente 5 veces. Prácticamente a un año de agregada la enmienda, el Ca⁺⁺ en solución continuaba aumentando, pero en esta oportunidad este incremento fue mucho mayor en DM que en DA, aproximadamente 8 veces en DA y 13 en DM, respecto a T (Tabla 4). El agua caída en este período fue de 667 mm. Este aumento del Ca⁺⁺ soluble se debe a la solubilización del SO₄Ca agregado.

En el tercer y cuarto muestreo realizado a 16 y 24 meses respectivamente de agregado el correctivo químico los valores de Ca⁺⁺ soluble se acercaron a los que presentaba el tratamiento testigo (Tabla 4); esto podría estar indicando que parte del Ca⁺⁺ entró en el complejo de cambio y parte se lixivió a mayores profundidades o que la enmienda se agotó. La lluvia caída en el período comprendido entre estos muestreos fue de 295 mm.

En la capa de 40 a 55 cm, para DM, en el primer y segundo muestreo, se encontraron contenidos de Ca^{++} soluble aproximadamente 13 veces mayores que en T, manifestando en el tercer y cuarto muestreo el mismo comportamiento que en la capa superior. En DA no se observaron diferencias respecto a T, esto probablemente puede deberse a varias razones. Una de ellas sería que el Ca^{++} proveniente de la enmienda no llegó a esas profundidades debido a las dificultades que ofrecen estos horizontes sódicos para el movimiento del agua, sumado a que quizás la dosis agregada no alcanzó como para producir cambios en los tenores de Ca^{++} soluble a estas profundidades, problemática que no se observa en DM, donde probablemente hubo un mejoramiento importante de algunas propiedades hidrofísicas, que permitieron que la enmienda llegara a mayores profundidades.

Tabla 5. Concentración de Ca^{++} y Na^+ soluble en el bloque II

Bloque II	Testigo		Dosis Agronómica		Dosis Máxima	
	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)
Prof. 5-20 cm.						
08/08/2005	2.38	9.85	5.37	20.62	5	1.25
23/12/2005	2.45	7.73	2.32	23.13	7.37	7.06
20/04/2006	3.4	7.1	7.2	10.1	4.8	2.95
25/11/2006	6.72	8.71	5	2.1	7	8.71
Prof. 40-55 cm.						
08/08/2005	1.84	18.38	2.62	24.04	2.25	49.69
23/12/2005	1.7	17.71	5.55	50.6	1.67	39
20/04/2006	2.67	20.34	2.45	53	1.77	43.71
25/11/2006	1.95	14.97	8.77	48.34	1.62	31.47

En el bloque II, y para la primera profundidad evaluada, también se observó un aumento del Ca^{++} soluble, pero no en la magnitud con que lo hizo en el bloque I, pudiendo deberse a una distribución desuniforme del yeso, como así también a pérdidas por el viento y el agua. Un comportamiento similar se dio en el bloque III, siendo más evidente el aumento de Ca^{++} soluble en DM.

Tabla 6. Concentración de Ca⁺⁺ y Na⁺ soluble en el bloque III

Bloque III	Testigo		Dosis Agronómica		Dosis Máxima	
	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)	Ca sol (meq l ⁻¹)	Na sol (meq l ⁻¹)
Prof. 5-20 cm.						
08/08/2005	1.55	5.93	2.7	4.85	5	1.79
23/12/2005	2.1	9.45	3.7	5.43	4.8	9.02
20/04/2006	1.47	17.78	2.15	6.23	4.4	14.6
25/11/2006	2.45	5.8	3.4	8.63	5.6	2.93
Prof. 40-55 cm.						
08/08/2005	1.15	19.5	1.37	38.67	1.84	32.89
23/12/2005	1.42	11.28	3.17	29.73	1.42	19.95
20/04/2006	1.55	11.82	1.95	27.02	2.32	26.5
25/11/2006	1.65	9.17	2.32	24.6	1	2.26

Sodio Soluble

Debido a las reacciones del SO₄Ca agregado en la solución del suelo, y luego de su disolución, es esperable que en primera instancia el Na⁺ soluble aumente, y luego disminuya por efecto del lixiviado como SO₄Na₂ hacia mayores profundidades.

El análisis de los resultados permite ver que en el bloque I (ver tabla 4), en la profundidad de 5 a 20 cm, y para las dos primeras fechas de muestreo, en DA el Na⁺ soluble aumentó, respecto al testigo, unas 5 veces aproximadamente, no existiendo cambios claros cuando se analizaron los valores de Na⁺ soluble a mayores profundidades.

En DM, y para la capa superficial no se observó esta tendencia, pero la mayor concentración de Na⁺ soluble en la capa de 40-55 cm, con respecto a T (54,82 me l⁻¹, y 31,30 me l⁻¹ respectivamente), pondría en evidencia que el Na⁺ desplazado del complejo de cambio, desde capas superiores, fue lixiviado y que el Ca⁺⁺ proveniente de la disolución del yeso ha llegado hasta esta profundidad. Esta interpretación se basa en los valores de Ca⁺⁺ soluble obtenidos en las dos primeras fechas de muestreo. En concordancia con lo expresado en párrafos precedentes, es posible que un aumento en la permeabilidad, por efecto del yeso agregado, hiciera posible este comportamiento.

En el bloque II y III (Tablas 5 y 6 respectivamente), el comportamiento del Na⁺ soluble fue similar al bloque I, con la diferencia que en el bloque III el aumento de Na⁺ soluble de en la capa de 40-55 cm fue menor.

En las figuras 4 y 5 se grafican los valores promedios de la variación de Na^+ soluble en el tiempo de los tres bloques para las dos profundidades analizadas.

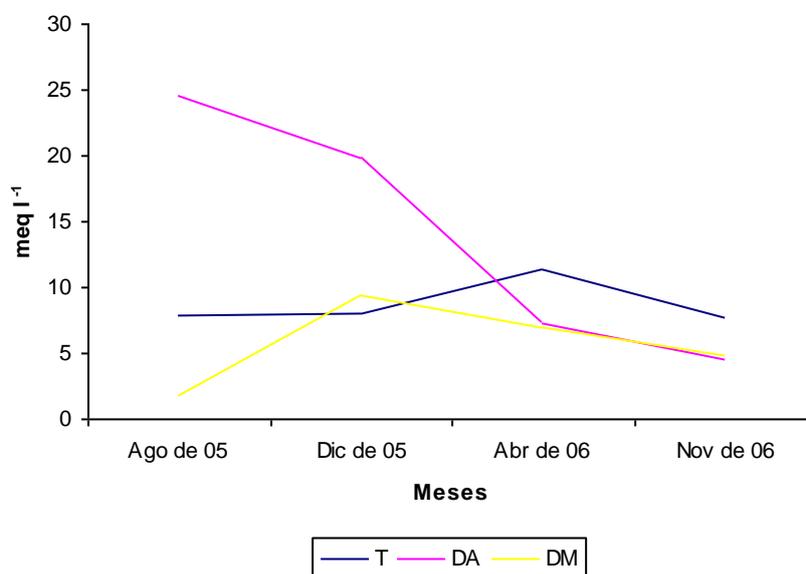


Figura 4: Concentración de Na soluble en el tiempo. Profundidad de 5-20 cm.

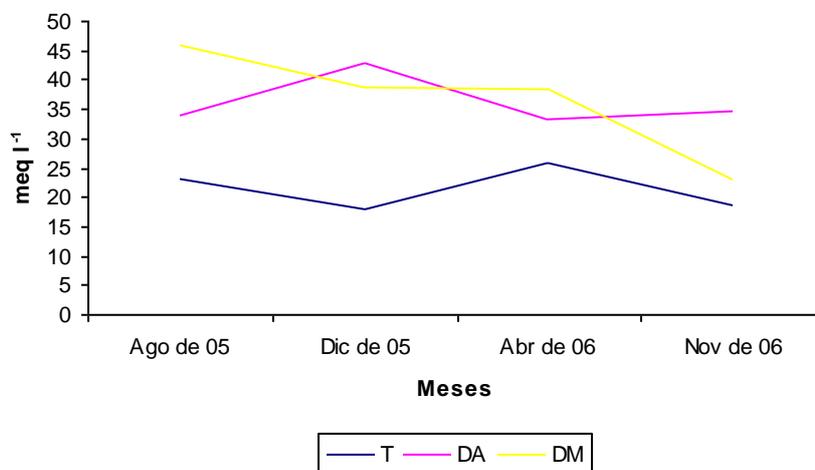


Figura 5: Concentración de Na soluble en el tiempo. Profundidad de 40 a 55 cm.

Como se puede observar en la figura 4, DA a los 8 meses de tratamiento (agosto de 2005) registró el máximo valor de Na^+ soluble de $24,6 \text{ meq.l}^{-1}$, mientras que para DM fue de $1,88 \text{ meq.l}^{-1}$, valor que no superó al de T, el cual fue de $7,85 \text{ meq.l}^{-1}$. Luego, DM y DA disminuyeron hasta los 23 meses (noviembre de 2006) adquiriendo ambos valores similares (DM: $4,84 \text{ meq.l}^{-1}$; DA: $4,57 \text{ meq.l}^{-1}$), mientras que T registró al final valores superiores a DA y DM ($7,78 \text{ meq.l}^{-1}$).

En la profundidad de 40 -55 cm (Figura 5) ocurrió lo inverso, a los 8 meses DM presentó un valor de 47 meq/l y a los 12 meses de tratamiento disminuyó a 38 meq/l. Esto indicaría la existencia del lavado del Na soluble existente en las primeras profundidades hacia las de mayores profundidades, ya que en DM hubo una tendencia a que disminuya el contenido de Na soluble en la profundidad de 40-55 cm a medida que aumenta en la primer profundidad de 5-20 cm. Este tendencia se observa en los primeros 2 meses para DM, y puede ser causa de la gran cantidad de yeso aplicado con respecto a DA, ya que DM al tener la mayor cantidad de yeso puede contribuir a generar mejor condiciones físicas que DA para producir el lavado del Na soluble.

Los valores de DA mostraron un comportamiento similar a DM hasta los 16 meses de tratamiento, a partir del cual el Na soluble en DA, de 5-20 cm disminuye notablemente, mientras que la profundidad de 40-55 cm denotó un aumento con respecto a T, similar a la proporción que disminuyó en la profundidad de 5-20 cm.

Dinámica de Ca^{++} y Na^+ intercambiables.

Las tablas 7, 8 y 9 muestran los resultados obtenidos en los 3 bloques y para los tres tratamientos de Ca^{++} y Na^+ intercambiables. Al igual que en el caso de los iones solubles los mayores cambios se encontraron en el bloque I, además en estas tablas pueden verse las diferencias entre los bloques, particularmente en el contenido de Na^+ intercambiable del bloque I respecto al II y III, debido a esto se analizaron por separado.

En general para los bloques I y II, a los 5-20 cm de profundidad, el Ca^{++} intercambiable aumentó a medida que transcurrió el tiempo de agregado de la enmienda.

En promedio entre las cuatro oportunidades de muestreo, en el bloque I, los valores para T, DA y DM fueron de 6,67, 7,41 y 8,41 cmol.kg^{-1} , respectivamente. En el bloque II los resultados fueron similares resultando en 6,39, 8,23 y 7,59 cmol.kg^{-1} , respectivamente. En el bloque III los valores obtenidos no acusaron diferencias entre tratamientos.

Tabla 7. Concentración de Ca⁺⁺ y Na⁺ Intercambiable en el bloque I.

Bloque I	Testigo		Dosis Agronómica		Dosis Máxima	
Profundidad 5-20 cm.	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)
08/08/2005	7.12	4.33	7.24	2.71	8.02	1.03
23/12/2005	6.32	4.62	7.52	1.89	8.36	0.97
20/04/2006	6.32	3.9	6.84	1.39	8.32	0.69
25/11/2006	6.92	4.9	8.05	1.35	8.87	0.93
Profundidad 40-55 cm.	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)
08/08/2005	13.8	9.87	16.28	11.75	11.28	7.68
23/12/2005	17.04	10.53	17.08	11.3	17.52	11.58
20/04/2006	14.48	8.72	18.56	11.23	16.44	10.26
25/11/2006	15.6	12.03	11.48	8.2	10.84	5.42

En lo que hace al comportamiento del Na⁺ intercambiable para la profundidad de 5-20 cm, los cambios son notables en el bloque I donde en DA y DM el Na⁺ intercambiable disminuyó paulatinamente hasta el último muestreo, alcanzando concentraciones 3,5 y 5 veces menores que T, para la mínima y máxima dosis respectivamente.

En el bloque II (Tabla 8), la concentración de Na⁺ intercambiable en T fue considerablemente menor a la del bloque I (Tabla 7). No obstante, si se analiza el comportamiento del Na⁺ en este bloque, se puede afirmar que en DM, y en promedio para las cuatro fechas de muestreo, el Na⁺ intercambiable representó el 63 % de T, esto indicaría que acá también hubo un progresivo intercambio Na⁺-Ca⁺⁺. En el bloque III (Tabla 9) no se observó una tendencia clara ni entre tratamientos, ni entre fechas de muestreo.

Tabla 8. Concentración de Ca⁺⁺ y Na⁺ Intercambiable en el bloque II

Bloque II	T		DA		DM	
Profundidad 5-20 cm.	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca in (cmol.kg ⁻¹)	Na in (cmol.kg ⁻¹)
08/08/2005	6.13	1.42	7.71	1.17	7.56	0.83
23/12/2005	5.84	1.39	8.56	1.35	7.28	0.8
20/04/2006	6.56	1.32	7.88	1.26	7.68	0.9
25/11/2006	7.04	1.56	8.78	2.05	7.84	1.04
Profundidad 40-55 cm.	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)
08/08/2005	15.25	8.25	19.92	7.13	16.22	10.75
23/12/2005	16.48	9.28	7.04	8.27	14.04	11.26
20/04/2006	17.8	7.86	10.21	9.07	18.96	9.49
25/11/2006	16.52	9.63	9.92	8.73	8	7.65

Tabla 9. Concentración de Ca⁺⁺ y Na⁺ Intercambiable en el bloque III.

Bloque III	Testigo		Dosis Agronómica		Dosis Máxima	
Profundidad 5-20 cm	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)
08/08/2005	7.21	1.04	6.56	1.11	7.86	2.23
23/12/2005	7.12	1.53	7.6	1.73	6.72	1.28
20/04/2006	7.45	1.88	6.72	2.36	7.25	3.93
25/11/2006	7.03	1.66	6.88	1.21	7.6	2.57
Profundidad 40-55 cm.	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Ca int (cmol.kg ⁻¹)	Na int (cmol.kg ⁻¹)
08/08/2005	11.4	11.23	12.8	11.61	12.45	13.4
23/12/2005	7.04	12.17	20.84	9.4	10.21	13.28
20/04/2006	11.08	9.46	14.4	9.07	17.6	10.71
25/11/2006	21.08	8.17	14.76	11.23	18.2	10.71

Las mayores concentraciones de Na⁺ intercambiable en el bloque I, favorecerían la disminución del mismo. Este último comportamiento puede atribuirse a lo expresado por Oster y Halvorson (1978) y Schuman y Meining (1993) quienes expresaron que la solubilidad del yeso incrementa cuando se mezcla con un suelo alcalino. Singh, *et al.* (1981) afirmaron que

además de la composición de la solución del suelo, la temperatura, la velocidad del flujo de agua durante el lixiviado, la solubilidad del yeso puede ser también afectada por el grado de saturación en Na^+ del suelo. Estos autores continúan diciendo que el complejo de cambio actúa como un sumidero del Ca^{++} liberado por la fase sólida y que el yeso continuará disolviéndose hasta que la fase solución se sature o hasta que el producto de las actividades de Ca^{++} y SO_4^- iguale al producto de solubilidad del yeso. Como el Ca^{++} liberado por la disolución del yeso es usado en reemplazar el Na^+ intercambiable, mientras mayor sea la cantidad a reemplazar más Ca^{++} pasará de la fase sólida a la solución y la cantidad de yeso disuelto por unidad de agua aplicada se incrementará. Por otro lado Abrol *et al.* (1979) y Hira *et al.* (1980) informaron que la solubilidad del yeso incrementa linealmente con el incremento del PSI, obedeciendo a la siguiente relación $Y = 0,0186 X + 0,18$ ($r = 0,98$), entre la solubilidad media del yeso en porcentaje (Y) y el PSI del suelo (X).

Cuando se obtienen los datos de Ca^{++} intercambiable a mayores profundidades, la interpretación se dificulta debido a que a los 40 cm de profundidad hay CO_3Ca mezclado en la masa del suelo, que parcialmente se disuelven cuando se desplaza el Ca^{++} intercambiable con acetato de amonio pH 7, y al intentar corregir restándole el Ca^{++} soluble, no da resultados satisfactorio y por esta razón los valores de Ca^{++} intercambiable pueden ser sobrestimados.

Además, se observa una alta heterogeneidad espacial, muy típica de los suelos que presentan esta problemática ligado a que se ha introducido un desorden en el suelo, producto de la adición del mejorador y si bien, los fenómenos de intercambio iónico son instantáneos, es probable que deba transcurrir un tiempo hasta que se restablezca el equilibrio. Esto se ve claramente en los resultados de los tres bloques, donde no hay una tendencia clara, a esto se suma que la forma del límite, cuando aparecen los carbonatos, es ondulado, y en el muestreo se puede estar tomando una zona con más carbonatos que otra.

Respecto a Na^+ , si bien los carbonatos no interfieren, ya hay Na^+ soluble a esta profundidad mostrando los resultados similar heterogeneidad (ver aspectos metodológicos). Esto lleva a considerar que sería más conveniente evaluar estos cambios a través de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), donde se puede podría ver la evolución de Ca^{++} y Na^+ soluble, y estimar a través de esta relación el PSI. Los resultados obtenidos coinciden en algunos aspectos con los obtenidos por distintos autores, fundamentalmente en lo que hace al aumento del Na^+ soluble y de la CE.

Así, Ilyas *et al.* (1996) trabajando en un Natracualf típico de las planicies de Pakistán (India) informaron que la aplicación de yeso produjo un incremento del Na^+ soluble y de la CE, en las evaluaciones realizadas luego de 6 meses y 1 año de agregada la enmienda. Estos incrementos los atribuyen al reemplazo con Ca^{++} de una porción del Na^+ intercambiable.

Por otro lado Schuman y Meining (1993) encontraron que la aplicación de yeso a los efectos de revegetar suelos con residuos provenientes de minas de bentonitas sódicas inutilizadas, redujo significativamente su PSI hasta los 60 cm. Los mayores cambios ocurrieron en los primeros 30 cm y, la efectividad del yeso en condiciones de secano fue sorprendente. Las concentraciones de Na soluble aumentaron un 18 %, hasta los 60 cm, con un incremento de 25 % de 0-15 cm de profundidad. Estas diferencias no fueron significativas debido a las grandes variaciones en los datos de Na soluble, pero reflejaron el resultado del intercambio de Na en el coloide. El Ca intercambiable mostró un incremento significativo hasta los 45 cm como resultado del agregado de yeso.

ASPECTOS METODOLOGICOS

Según los resultados obtenidos las características del suelo donde se presentan los manchones, guardan cierta diferencia entre sí. A ello se suma que la metodología utilizada para obtener solución de suelo, particularmente en lo relativo a la succión aplicada a la pasta saturada (aproximadamente 0,7 atm) es insuficiente para extraer solución de suelo que sea representativa de la situación real, problema esperable en suelos sódicos, donde debido a la degradación de la estructura hay un aumento de la microporosidad, lo que dificulta la obtención de solución de suelo. Al respecto Várallyay (1981) afirma que el rango de humedad disponible, calculado como la diferencia entre los porcentajes de agua a capacidad de campo y marchites permanente, incrementa con el aumento de PSI, siendo el principal factor limitante de la disponibilidad de agua los coeficientes de transporte (conductividad capilar y difusividad); y el flujo desde zona más húmedas a zonas más secas es extremadamente lento.

Una clara evidencia de la baja eficiencia en la extracción de iones solubles son los valores de Na^+ obtenidos a profundidades de 40 cm en más, (el Ca^{++} extraído con agua ya se discutió en párrafos anteriores). Lo antedicho se observa en la tabla 10, con datos provenientes del bloque I, donde los valores de Na^+ intercambiable más Na^+ soluble, se aproximaron a los de la capacidad de intercambio catiónico. Al intentar corregir dichos valores, descontando el Na^+ soluble del obtenido por desplazamiento con acetato de amonio, para obtener el valor real de Na^+ intercambiable, el cambio es apenas perceptible. La citada corrección se realiza convirtiendo los me l^{-1} , obtenidos en solución, a $\text{meq}/100$ gramos de suelo, mediante el porcentaje de agua a saturación (Richards 1973). Al respecto Richards (1973) informa que el análisis de los cationes

intercambiables en los suelos salinos y sódicos lleva consigo dificultades, ya que es común encontrar carbonatos de metales alcalino-térreos y una concentración relativamente alta de sales solubles. Cualquier solución que sea capaz de desplazar los cationes intercambiables de los suelos, disuelve casi todo el total de sales solubles así como una buena proporción de carbonatos de calcio y magnesio si se encuentran en el suelo. Por lo tanto, la disolución de las sales requiere determinaciones independientes del contenido de cationes solubles y que además se corrija el análisis de cationes intercambiables por la presencia de sales. Continúa diciendo que la baja permeabilidad de muchos suelos alcalinos vuelve engorrosas e inconvenientes las técnicas convencionales de lavado para desplazar los cationes intercambiables.

Tabla 10. Corrección de los valores de Na^+ intercambiable más Na^+ soluble a través de la determinación de iones solubles en extracto de saturación, en el bloque I, para el tratamiento testigo.

Prof.(cm)	Fecha	Agua saturac. (%)	Na int (cmol.kg ⁻¹)	Na ⁺ sol. (meq l ⁻¹)	Na ⁺ sol. (cmol.kg ⁻¹)	(Na ⁺ int + sol) – (Na ⁺ sol)
40-55	08/08/2005	43,41	9.87	31.3	1,36	8,51
	23/12/2005	42,93	10.53	25,56	1,68	8,84
	20/04/2006	37,37	8.72	45,30	1,69	6,03
	25/11/2006	41,46	12.03	32,19	1,33	10,7
80- 100	08/08/2005	37,04	9.49	45,65	1,69	7,80
	23/12/2005	28,93	9.04	20,84	0,60	8,44
	20/04/2006	35,31	9.7	33,17	1,17	8,52
	25/11/2006	31,53	10.4	18,02	0,57	9,83

CONCLUSIONES

- En la situación estudiada y luego de aproximadamente un año del agregado de 2000 kg ha⁻¹ (DA) y 6000 kg ha⁻¹ (DM) de yeso, y en la capa de 5-20 cm, la CE aumenta en las parcelas tratadas.
- Al cabo de dos años, los valores de CE en DA se acercan a los del testigo, en tanto que en DM son levemente superiores.
- Respecto a los cambios de pH, al final de la experiencia los valores en DA y DM se aproximan a T.
- El Ca⁺⁺ en solución aumenta más en DM que en DA, acercándose a los valores de T al final de la experiencia, lo mismo ocurre con el Na⁺ soluble.
- El Na⁺ intercambiable se manifiesta sensiblemente menor que T en DA, y más aún en DM.
- Respecto al Ca⁺⁺ intercambiable se observa un aumento del mismo en DM.
- Ante estos resultados surge la necesidad de continuar evaluando el comportamiento de estos parámetros frente el agregado de nuevas dosis de yeso.
- Es necesario continuar estudiando la evolución de estos parámetros ante futuros agregados de yeso, pero debido a las dificultades que ofrecen, en este tipo de suelos, las técnicas analíticas utilizadas, es recomendable utilizar como indicadores de los cambios producidos por la acción de la enmienda, la CE, el pH y la RAS.

Bibliografía

- Abrol, I.P., Gupta, R. K. and S. B. Singh.1979. **Note on the solubility of gypsum and sodic soil reclamation.** J. Indian Soc. Soil Sci.27.482-483.
- Barreto Filho, F.L, Carvalho Guerra H.O. y H. R. Gheyi. 2003. **Conductividad hidráulica en un suelo aluvial en respuesta al porcentaje de sodio intercambiable.** Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.7 no.2 Campina Grande.Brasil.May/Aug. 2003.
- Bonadeo, E., Moreno, I., Hampp, E. y A. Sorondo. 2001. **Factores del suelo que regulan la productividad de la alfalfa en áreas con manchoneo.** Actas XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cuba.Pp IV-20.
- Bonadeo, E.; Moreno, I.; Odorizzi, A., Hampp, E., Sorondo, A. y M. Bongiovani. 2002. **Relación entre propiedades físico-químicas del suelo y raíces de alfalfa.** Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn. Chubut. Pp 48.
- Bonadeo, E., Bongiovanni, M., Hampp, E., Odorizzi, A. e I. Moreno. 2004. **Comparación de propiedades del suelo que producen manchoneo en la vegetación.** XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. Entre Ríos.Pp 91
- Bressler, E., Mc. Neal, G.L, y D.L. Carter. 1982. **Saline and sodic Soils. Modelling, Principles and dynamics.** Advances series in agriculture sciences 10. Springer Verlag.Pp 166-187.
- Cisneros, J. M., Pappalardo, J. E. y E. Weir.1998. **Comisión técnica interinstitucional . Manual de técnicas de manejo de campos afectados por inundaciones.** INTA, UNRC, Sec de Agric, Ganad y Rec Renovables. Federacion Agraria Argentina.
- Colacelli, N. 2003. **Correccion de suelos alcalinos.** Cátedra de Uso del Suelo Facultad de agronomía y Zootecnia de la U.N.T. Edicion digital: www.produccion.com.ar. consultado:14/11/2006
- Dorronsoro, C. 2005. **Contaminacion por sales solubles.** Capitulo 12. Universidad de Granada. España. Edicion Digital: <http://edafología.ugr.es/conta/tema12/sales.htm> Consultado: 23/11/2005.
- Garavito Neira, F. 1970. **Propiedades químicas de los suelos.** Instituto Geografico Agustin Codazzi. Bogota. Colombia.
- Hampp, E., Bonadeo E., M. Bongiovanni, e I. Moreno. 2004. **Aspectos genéticos de suelos con manchoneo de cultivos.** XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Cartagena. Colombia.
- Harris, P. 2001. **A field day for minerals.** En: Industrial Minerals. Diciembre de 2001.
- Hira, G.S., Singh, N. T. and R. Singh.1980. **Water requirement during the reclamation of sodic soils with gypsum.** Internat. Symp. Salt- affected soils. Karnal. 322-329. India.

- Ilyas , M., Miller R. W. and R. H. Qureshi. 1993. **Hydraulic Conductivity of Saline-Sodic Soil after Gypsum Application and Cropping**. Soil Sc. Soc. Of Am. J. 57:1580-1585.
- InfoStat. 2004. **Infostat versión 2004**. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Cordoba, Argentina.
- INTA. 1987. **Carta de los suelos de la República Argentina**. Hoja 3363-9 Villa María. Plan Mapa de Suelos. Córdoba . Argentina.
- Jarsun, B. 1996. **Condiciones del suelo para la alfalfa. Métodos correctivos**. V Jornadas Nacionales de alfalfa. Villa María. Cordoba. Argentina.
- McNeal, B.L. y N. T. Coleman. 1966. **Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity**. Soil Science Society America Proceedings, Madison, v.30, p.308-312.
- Moreno, I., Bonadeo, E., Hampp, E., Urbani, D.y M. Bongiovani. 2006. **Agregado de yeso y dinamica de sales y pH en suelos con horizontes salinos subsuperficiales**. Actas en cd. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta.
- Niborski, M. 2000. **El exceso de sales y sodio en los suelos de las regiones áridas y semiáridas**. Cátedra de manejo y conservación de suelos. Facultad de agronomía de la Universidad de Buenos Aires. 19 p. Edición Digital: <http://www.oas.org/usde/publication/unit/oea10s>. Consultado:06/04/2007
- Oster, J.D. and A.D.Halvorson. 1978. **Saline seep chemistry**. In **Dry land-Saline-Seep Control**. Proc. 27-29. 11 th Intern.Congr.Soil Sci. Edmonton, Canada.
- Page, A.L.(Ed.) 1982. **Methods of soil analysis**. Part 1 Number 9 American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsin. USA. 1159 pags.
- Pal, D. K, Bhattacharyya T, Ray S. K, Chandran P., Srivastava P. , Durge S. P. and S.R. Bhuse. 2006. **Significance of soil modifiers (Ca-zeolites and gypsum) in naturally degraded Vertisols of the Peninsular India in redefining the sodic soils**. Geoderma, 2006. Volume 136, Issues 1-2. Edición Digital: <http://www.sciencedirect.com/science>. Consultado el 23/03/2005.
- Pearson, K. E. and J. W. Bauder. 2003. **The Basics of Salinity and Sodicty Effects on Soil Physical Properties**. Department of Land Resources and Environmental Sciences. Montana State University – Bozeman. Edicion Digital: <http://waterquality.montana.edu> Consultado el 14/11/2007.
- Ponce, M. y M. Torres Duggan. 2005. **Minerales para la agricultura. Yeso**. Capitulo VI.Universidad Nacional de San Martin. Buenos Aires. Argentina
- Porta Casanellas, J., López Acevedo M. y C. Roquero.2004. **Edafología para la agricultura y el medio ambiente**. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 807 pags.

- Quintero C. , Boschetti N., Durand Morat A. y S. Fettolini . 2003. **Recuperación de suelos dispersivos por medio de enmiendas**. Cátedra Edafología, Facultad Ciencias Agropecuarias- universidad Nacional de Entre Ríos –.Argentina. Edición digital: <http://www.uner.edu.ar>. Consultado el 04/05/2007
- Rengasamy, P. Y K.A. Olsson. 1991. **Sodicity and Soil Structure**. Aust. J. Soil Res. 29:925-32.
- Richards, L.A. (Ed.) 1973. **Rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. Limusa.
- Sánchez E. y M. Curetti . 2003. **Los suelos salinos y sódicos. Características y diferenciación. Modos de recuperación y recomendaciones**. INTA Alto Valle. Argentina. Edición digital: www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblio/rompecabezas/pdfs Consultado el 23/08/2006.
- Schuman G.E. and J.L. Meining. 1993. **Short-Term of Surface-Applied Gypsum on Revegetated Sodic Bentonite Spoils**. Soil Sc. Soc. Of Am. J. 57:1083-1088.
- Singh N. T., Hira G. S. and M. S. Bajwa.1981. **Use of Amendments in reclamation of alkali soils in India**. In Hungaro-Indian seminar on salt affected soils. Agrokemia Es Talajtan. Budapest.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. and J.L. Havlin. 1993. **Soil fertility and fertilizers**. Fifth Edition. Macmillan Publishing Company. 634 pags.
- Varallyay G.1981. **Extreme Moisture regime as the main limiting factor of the fertility of salt affected soils**. In Hungaro-Indian seminar on salt affected soils. Agrokemia Es Talajtan. Budapest, 1981.
- Yágodin, B.,Smirnov, P. y A. P. Peterburgski. 1986. **Agroquímica**. Editorial Mir. URSS. Pp 198-255.

INFORMACION ANEXA

Anexo I

Analisis estadístico de Ca y Na Soluble.

Ca Profundidad 5-20 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca	36	0,64	0,30	73,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	513,77	17	30,22	1,88	0,0963	
Bloque	144,55	2	72,28	4,50	0,0259	
Dosis	150,11	2	75,05	4,49	0,0948	
(Bloque*Dosis)						
Bloque*Dosis	66,79	4	16,70	1,04	0,4136	
Tiempo	68,87	3	22,96	1,43	0,2666	
Tiempo*Dosis	83,45	6	13,91	0,87	0,5375	
Error	288,79	18	16,04			
Total	802,56	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=3,43550

Error: 16,0439 gl: 18

Bloque	Medias	n		
3,00	3,28	12	A	
2,00	4,92	12	A	B
1,00	8,10	12		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=4,63176

Error: 16,6981 gl: 4

Dosis	Medias	n		
T	2,89	12	A	
DA	5,51	12	A	B
DM	7,89	12		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=6,87099

Error: 16,0439 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n		
ago-05	T	2,09	3	A	
abr-06	T	2,30	3	A	
dic-05	T	2,41	3	A	
abr-06	DA	4,17	3	A	
nov-06	DA	4,18	3	A	
nov-06	T	4,78	3	A	
abr-06	DM	4,87	3	A	
ago-05	DA	6,31	3	A	B
nov-06	DM	6,61	3	A	B
ago-05	DM	7,03	3	A	B
dic-05	DA	7,38	3	A	B
dic-05	DM	13,07	3		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Na soluble. 5-20 cm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na	36	0,51	0,05	73,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	681,30	17	40,08	1,11	0,4145	
Bloque	15,45	2	7,72	0,21	0,8098	
Dosis	118,38	2	59,19	1,66	0,2986	
(Bloque*Dosis)						
Bloque*Dosis	142,64	4	35,66	0,99	0,4401	
Tiempo	176,17	3	58,72	1,62	0,2191	
Tiempo*Dosis	228,65	6	38,11	1,05	0,4249	
Error	651,11	18	36,17			
Total	1332,40	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=5,15850

Error: 36,1725 gl: 18

Bloque	Medias	n	
3,00	7,70	12	A
2,00	7,79	12	A
1,00	9,13	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=5,15850

Error: 36,1725 gl: 18

Bloque	Medias	n	
3,00	7,70	12	A
2,00	7,79	12	A
1,00	9,13	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=10,31701

Error: 36,1725 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n		
ago-05	DM	1,88	3	A	
nov-06	DA	4,57	3	A	
nov-06	DM	4,84	3	A	
abr-06	DM	7,04	3	A	
abr-06	DA	7,21	3	A	
nov-06	T	7,78	3	A	B
ago-05	T	7,85	3	A	B
dic-05	T	8,01	3	A	B
dic-05	DM	9,32	3	A	B
ago-05	DA	11,13	3	A	B
abr-06	T	11,30	3	A	B
dic-05	DA	17,58	3		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Ca soluble 40-55 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca	36	0,78	0,57	96,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	803,90	17	47,29	3,73	0,0041	
Bloque	144,03	2	72,01	5,68	0,0122	
Dosis	142,01	2	71,00	0,71	0,5440	
(Bloque*Dosis)						
Bloque*Dosis	399,17	4	99,79	7,87	0,0007	
Tiempo	36,07	3	12,02	0,95	0,4381	
Tiempo*Dosis	82,63	6	13,77	1,09	0,4072	
Error	228,19	18	12,68			
Total	1032,09	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=3,05382

Error: 12,6771 gl: 18

Bloque	Medias	n	
3,00	1,73	12	A
2,00	2,93	12	A
1,00	6,45	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=11,32300

Error: 99,7921 gl: 4

Dosis	Medias	n	
T	1,75	12	A
DA	2,93	12	A
DM	6,43	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=6,10764

Error: 12,6771 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n		
ago-05	T	1,60	3	A	
dic-05	T	1,69	3	A	
nov-06	T	1,79	3	A	
abr-06	T	1,91	3	A	
ago-05	DA	1,94	3	A	
abr-06	DA	2,01	3	A	
abr-06	DM	2,45	3	A	
dic-05	DA	3,41	3	A	B
nov-06	DA	4,37	3	A	B
nov-06	DM	4,66	3	A	B
dic-05	DM	9,20	3		B
ago-05	DM	9,39	3		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Na soluble 40-55 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na	36	0,83	0,66	26,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	5915,68	17	347,98	5,02	0,0007
Bloque	2036,62	2	1018,31	14,70	0,0002
Dosis	1785,60	2	892,80	3,61	0,1271
(Bloque*Dosis)					
Bloque*Dosis	989,40	4	247,35	3,57	0,0259
Tiempo	422,73	3	140,91	2,03	0,1451
Tiempo*Dosis	681,32	6	113,55	1,64	0,1937
Error	1246,92	18	69,27		
Total	7162,61	35			

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=7,13867

Error: 69,2734 gl: 18

Bloque	Medias	n	
3,00	21,12	12	A
2,00	34,27	12	B
1,00	38,86	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=17,82665

Error: 247,3503 gl: 4

Dosis	Medias	n	
T	21,46	12	A
DA	36,18	12	A
DM	36,61	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=14,27735

Error: 69,2734 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n				
dic-05	T	18,18	3	A			
nov-06	T	18,78	3	A			
ago-05	T	23,06	3	A	B		
nov-06	DM	23,29	3	A	B		
abr-06	T	25,82	3	A	B	C	
abr-06	DA	33,35	3		B	C	D
ago-05	DA	33,98	3		B	C	D
nov-06	DA	34,67	3		B	C	D
abr-06	DM	38,46	3			C	D
dic-05	DM	38,87	3			C	D
dic-05	DA	42,74	3				D
ago-05	DM	45,80	3				D

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Anexo II

Análisis estadísticos de CE

CE de 5-20 cm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	36	0,59	0,21	41,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	9,23	17	0,54	1,54	0,1875	
Bloque	2,82	2	1,41	3,99	0,0368	
Dosis	0,63	2	0,32	1,84	0,2718	(Bloque*Dosis)
Bloque*Dosis	0,69	4	0,17	0,49	0,7441	
Tiempo	2,83	3	0,94	2,67	0,0783	
Tiempo*Dosis	2,25	6	0,37	1,06	0,4218	
Error	6,36	18	0,35			
Total	15,59	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,50995

Error: 0,3535 gl: 18

Bloque	Medias	n	
3,00	1,03	12	A
2,00	1,62	12	B
1,00	1,63	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,47106

Error: 0,1727 gl: 4

Dosis	Medias	n	
DM	1,24	12	A
T	1,50	12	A
DA	1,54	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=1,01989

Error: 0,3535 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n			
ago-05	T	0,87	3	A		
nov-06	DA	0,98	3	A		
ago-05	DM	1,13	3	A		
abr-06	DM	1,18	3	A	B	
dic-05	DM	1,29	3	A	B	C
nov-06	DM	1,36	3	A	B	C
abr-06	T	1,41	3	A	B	C
nov-06	T	1,46	3	A	B	C
abr-06	DA	1,49	3	A	B	C
ago-05	DA	1,53	3	A	B	C
dic-05	DA	2,17	3		B	C
dic-05	T	2,24	3			C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

CE 40-55 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	36	0,69	0,40	41,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	69,30	17	4,08	2,38	0,0381	
Bloque	31,97	2	15,98	9,33	0,0017	
Dosis	16,69	2	8,35	3,51	0,1317	
(Bloque*Dosis)						
Bloque*Dosis	9,51	4	2,38	1,39	0,2778	
Tiempo	4,92	3	1,64	0,96	0,4338	
Tiempo*Dosis	6,22	6	1,04	0,61	0,7230	
Error	30,83	18	1,71			
Total	100,13	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=1,12243

Error: 1,7126 gl: 18

Bloque	Medias	n	
3,00	1,83	12	A
2,00	3,51	12	B
1,00	4,04	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=1,74731

Error: 2,3764 gl: 4

Dosis	Medias	n	
T	2,17	12	A
DA	3,51	12	A
DM	3,70	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=2,24485

Error: 1,7126 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n			
dic-05	T	1,62	3	A		
nov-06	T	1,75	3	A	B	
abr-06	T	2,31	3	A	B	C
nov-06	DM	2,42	3	A	B	C
ago-05	T	2,99	3	A	B	C
ago-05	DA	3,17	3	A	B	C
nov-06	DA	3,53	3	A	B	C
dic-05	DA	3,57	3	A	B	C
abr-06	DA	3,77	3	A	B	C
dic-05	DM	3,91	3		B	C
abr-06	DM	3,98	3		B	C
ago-05	DM	4,47	3			C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Anexo III

Análisis estadístico de pH.

Profundidad 5-20 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	36	0,84	0,70	5,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	15,98	17	0,94	5,70	0,0003	
Bloque	0,65	2	0,33	1,98	0,1671	
Dosis	0,17	2	0,09	0,58	0,6014	(Bloque*Dosis)
Bloque*Dosis	0,59	4	0,15	0,90	0,4868	
Tiempo	13,58	3	4,53	27,47	<0,0001	
Tiempo*Dosis	0,98	6	0,16	0,99	0,4581	
Error	2,97	18	0,16			
Total	18,94	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,34817

Error: 0,1648 gl: 18

Bloque	Medias	n	
2,00	7,36	12	A
1,00	7,46	12	A
3,00	7,68	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,43550

Error: 0,1476 gl: 4

Dosis	Medias	n	
DA	7,42	12	A
DM	7,49	12	A
T	7,59	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,69634

Error: 0,1648 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n		
abr-06	DA	6,46	3	A	
abr-06	DM	6,70	3	A	B
nov-06	DM	6,83	3	A	B
nov-06	T	7,02	3	A	B
nov-06	DA	7,08	3	A	B
abr-06	T	7,23	3		B
dic-05	DA	8,00	3		C
dic-05	T	8,02	3		C
ago-05	T	8,07	3		C
ago-05	DA	8,13	3		C
dic-05	DM	8,18	3		C
ago-05	DM	8,25	3		C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Profundidad 40-55 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	36	0,62	0,26	3,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	3,14	17	0,18	1,74	0,1277	
Bloque	0,55	2	0,27	2,58	0,1034	
Dosis	0,01	2	4,4E-03	0,06	0,9431	
(Bloque*Dosis)						
Bloque*Dosis	0,30	4	0,07	0,70	0,6019	
Tiempo	1,28	3	0,43	4,01	0,0238	
Tiempo*Dosis	1,00	6	0,17	1,57	0,2122	
Error	1,92	18	0,11			
Total	5,06	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,27990

Error: 0,1065 gl: 18

Bloque	Medias	n		
1,00	8,29	12	A	
2,00	8,47	12	A	B
3,00	8,59	12		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,30952

Error: 0,0746 gl: 4

Dosis	Medias	n	
DA	8,43	12	A
T	8,45	12	A
DM	8,47	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,55981

Error: 0,1065 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n			
dic-05	T	7,88	3	A		
ago-05	T	8,29	3	A	B	
nov-06	DM	8,32	3	A	B	
dic-05	DA	8,32	3	A	B	
ago-05	DA	8,35	3	A	B	C
dic-05	DM	8,44	3		B	C
ago-05	DM	8,44	3		B	C
nov-06	DA	8,48	3		B	C
abr-06	DA	8,58	3		B	C
abr-06	DM	8,68	3		B	C
nov-06	T	8,75	3		B	C
abr-06	T	8,90	3			C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Anexo IV

Análisis estadístico de Ca⁺⁺ y Na⁺ Intercambiables.

Ca⁺⁺ Intercambiable.5-20 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca	36	0,57	0,17	14,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	26,43	17	1,55	1,43	0,2300	
Bloque	2,01	2	1,01	0,92	0,4152	
Dosis	3,81	2	1,90	0,58	0,6002	(Bloque*Dosis)
Bloque*Dosis	13,10	4	3,27	3,01	0,0460	
Tiempo	0,36	3	0,12	0,11	0,9524	
Tiempo*Dosis	7,15	6	1,19	1,10	0,4026	
Error	19,59	18	1,09			
Total	46,03	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,89486

Error: 1,0885 gl: 18

Bloque	Medias	n	
2,00	6,92	12	A
3,00	7,17	12	A
1,00	7,50	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=2,05102

Error: 3,2743 gl: 4

Dosis	Medias	n	
T	6,75	12	A
DM	7,30	12	A
DA	7,53	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=1,78972

Error: 1,0885 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n	
nov-06	DM	6,17	3	A
dic-05	T	6,43	3	A
abr-06	T	6,78	3	A
ago-05	T	6,82	3	A
nov-06	T	7,00	3	A
abr-06	DA	7,15	3	A
ago-05	DA	7,17	3	A
dic-05	DM	7,45	3	A
abr-06	DM	7,75	3	A
ago-05	DM	7,84	3	A
dic-05	DA	7,89	3	A
nov-06	DA	7,90	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Na⁺ Intercambiable 5-20 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na	36	0,53	0,08	67,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	34,66	17	2,04	1,18	0,3636	
Bloque	8,66	2	4,33	2,51	0,1093	
Dosis	10,82	2	5,41	1,73	0,2881	(Bloque*Dosis)
Bloque*Dosis	12,54	4	3,13	1,82	0,1696	
Tiempo	1,10	3	0,37	0,21	0,8869	
Tiempo*Dosis	1,54	6	0,26	0,15	0,9869	
Error	31,06	18	1,73			
Total	65,72	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=1,12662

Error: 1,7254 gl: 18

Bloque	Medias	n	
2,00	1,26	12	A
3,00	2,27	12	A
1,00	2,33	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=2,00683

Error: 3,1347 gl: 4

Dosis	Medias	n	
DM	1,42	12	A
DA	1,72	12	A
T	2,71	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=2,25325

Error: 1,7254 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n	
dic-05	DM	1,02	3	A
ago-05	DM	1,33	3	A
nov-06	DM	1,51	3	A
nov-06	DA	1,54	3	A
ago-05	DA	1,66	3	A
abr-06	DA	1,67	3	A
abr-06	DM	1,84	3	A
dic-05	DA	2,01	3	A
ago-05	T	2,38	3	A
dic-05	T	2,52	3	A
nov-06	T	2,71	3	A
abr-06	T	3,22	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Ca⁺⁺ Intercambiable 40-55 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca	36	0,41	0,00	28,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	206,24	17	12,13	0,73	0,7429	
Bloque	7,18	2	3,59	0,21	0,8088	
Dosis	2,85	2	1,43	0,08	0,9228	
(Bloque*Dosis)						
Bloque*Dosis	69,66	4	17,41	1,04	0,4129	
Tiempo	10,64	3	3,55	0,21	0,8866	
Tiempo*Dosis	115,92	6	19,32	1,16	0,3715	
Error	300,70	18	16,71			
Total	506,94	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=3,50560

Error: 16,7054 gl: 18

Bloque	Medias	n	
2,00	14,20	12	A
3,00	14,32	12	A
1,00	15,20	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=4,72999

Error: 17,4138 gl: 4

Dosis	Medias	n	
DM	14,31	12	A
DA	14,44	12	A
T	14,96	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=7,01120

Error: 16,7054 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n	
nov-06	DA	12,05	3	A
nov-06	DM	12,35	3	A
ago-05	DM	13,32	3	A
ago-05	T	13,48	3	A
dic-05	T	13,52	3	A
dic-05	DM	13,92	3	A
abr-06	DA	14,39	3	A
abr-06	T	14,45	3	A
dic-05	DA	14,99	3	A
ago-05	DA	16,33	3	A
abr-06	DM	17,67	3	A
nov-06	T	18,40	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Na⁺ Intercambiable 40-55 cm.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na	36	0,67	0,36	14,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	77,95	17	4,59	2,17	0,0557	
Bloque	22,28	2	11,14	5,28	0,0157	
Dosis	1,77	2	0,88	0,19	0,8322	
(Bloque*Dosis)						
Bloque*Dosis	18,35	4	4,59	2,18	0,1131	
Tiempo	15,72	3	5,24	2,48	0,0936	
Tiempo*Dosis	19,84	6	3,31	1,57	0,2134	
Error	37,96	18	2,11			
Total	115,91	35				

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=1,24552

Error: 2,1088 gl: 18

Bloque	Medias	n		
2,00	8,95	12	A	
1,00	9,80	12	A	B
3,00	10,87	12		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=2,42764

Error: 4,5871 gl: 4

Dosis	Medias	n	
T	9,68	12	A
DA	9,75	12	A
DM	10,18	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=2,49104

Error: 2,1088 gl: 18

Tiempo	Dosis	Medias	n			
nov-06	DM	7,93	3	A		
abr-06	T	8,35	3	A	B	
nov-06	DA	9,39	3	A	B	
dic-05	DA	9,66	3	A	B	C
ago-05	T	9,78	3	A	B	C
abr-06	DA	9,79	3	A	B	C
nov-06	T	9,94	3	A	B	C
abr-06	DM	10,15	3	A	B	C
ago-05	DA	10,16	3	A	B	C
ago-05	DM	10,61	3		B	C
dic-05	T	10,66	3		B	C
dic-05	DM	12,04	3			C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

