

# EFECTO DEL AGREGADO DE UNA SEGUNDA DOSIS DE YESO A SUELOS CON HORIZONTES SALINOS SODICOS SUBSUPERFICIALES

## INTRODUCCION

### *Problemática, origen y causas*

Una problemática frecuente de la pampa plana, ubicada en el centro-este de la llanura cordobesa (INTA, 1993) es la aparición -en los principales cultivos y pasturas- de sectores de superficie variable, con límites bien definidos, denominados comúnmente “manchones”. Éstos se caracterizan por un menor desarrollo de la parte aérea y menor número de plantas, facilitando de esta forma el avance de malezas gramíneas adaptadas y reduciendo la producción de la pastura. Las dimensiones de las áreas afectadas son del orden de metros (Hampp *et al.* 2004). Por lo tanto en el lote, se presentan dos situaciones diferentes, y en cada una de ellas las sales se encuentran en menor y mayor profundidad, denominándose las manchón (M) y normal (N) respectivamente. (Figura 1).

Esta problemática de origen edáfico está relacionada a procesos halomórficos vinculados a una capa freática con importante concentración de sales sódicas que se encuentra oscilando a más de 2 metros de profundidad. Hampp *et al.* (2004), profundizaron sobre el origen y la distribución de los manchones en el terreno, y llegaron a la conclusión de que estas superficies manchoneadas obedecen a procesos genéticos antiguos, donde la



vegetación afectó la dinámica de sales, determinando que éstas llegaran o no a la superficie.

La principal causa de la menor producción del cultivo implantado en M, es el contenido de sales y sodio en horizontes subsuperficiales en concentraciones que exceden los niveles de tolerancia del mismo (Bressler *et al.*, 1982).

**Figura 1:** Lote de alfalfa donde se visualizan las situaciones manchón (M) y Normal (N).

Sin embargo, cabe destacar, que los elevados valores de PSI (porcentaje de sodio de intercambio) no afectan el desarrollo radical de manera directa pero generan un estado de dispersión coloidal que afecta la dinámica hídrica del perfil, limitando el descenso del frente salino y provocando la exclusión de raíces.

Otra de las causas que influyen en el desarrollo del vegetal son los valores de pH cercanos a 9 que afectan la disponibilidad de nutrientes. En N la mayor profundidad de suelo libre de sales restringe menos el desarrollo de raíces lo que se traduce en un mayor rendimiento de parte aérea (Bonadeo *et al.* 2006).

### *Requerimientos para el crecimiento de alfalfa*

El “manchoneo” adquiere relevancia productiva y económica en pasturas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) por ser éstas el principal recurso forrajero del área y más específicamente de la cuenca lechera de Villa María, Córdoba. Para esta pastura, los “manchones” se manifiestan generalmente al año de implantada, con porcentajes que oscilan alrededor del 10% para llegar a ocupar el 50% o más de la superficie a los tres años de edad (Bonadeo *et al.*, 2006).

La alfalfa se adapta a diferentes tipos de suelos siendo los más aptos los de textura franca. Una condición importante es que tengan buen drenaje y que sean lo suficientemente profundos para permitir un normal desarrollo radical. La especie no prospera satisfactoriamente cuando existe algún impedimento en el perfil que pueda restringir su desarrollo. Estos factores no sólo disminuyen la producción sino también la persistencia, ya que las plantas están imposibilitadas de acumular reservas suficientes para un aprovechamiento intensivo (Culot, 1986).

El pH óptimo del suelo para permitir una buena implantación y persistencia, junto con una mayor actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno es de 6,7 – 6,9, a su vez, en ese rango se encuentran disponibles para las plantas los nutrientes necesarios existentes en el suelo (Jarsum, 1996).

Es medianamente resistente a la salinidad, ya que tolera suelos con conductividad eléctrica de hasta 8 dS/m, pero a costa de una reducción del 50% de su producción. La salinidad crítica sin reducción de rendimiento es de 2 dS/m (Culot, 1986).

Esta pastura es muy sensible al anegamiento, de esta forma la oxigenación a nivel radical es limitada, provocando los mayores daños en estado de plántula y en períodos de altas temperaturas. Las plantas adultas son algo más tolerantes, siempre que la temperatura del suelo no sea elevada y el tiempo no sea prolongado, en estas condiciones se ha calculado que 8 días de anegamiento disminuyen la fotosíntesis en un 30% (Culot, 1986).

### *Funcionamiento de los suelos salinos- sódicos y su relación con el vegetal*

Russell y Russell (1964) comentan que un vegetal puede mantenerse vivo en presencia de determinados niveles de concentraciones salinas, pero se desarrollara poco bajo estas condiciones y solo lentamente con contenidos moderados a elevados de sal, siendo por ello de poco valor comercial; además, aunque la planta pueda desarrollarse en suelos bastante salinos, la calidad de la porción recolectada se verá afectada. La tolerancia de una planta a la sal depende casi exclusivamente de las condiciones climáticas a las que esta expuesto el vegetal; ya que por ejemplo, la temperatura puede afectar las condiciones del suelo, perjudicando de esta forma al desarrollo y vigor del sistema radicular.

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.

Respecto al ion  $\text{Na}^+$ , Russell y Russell (1964) consideran que un porcentaje del 12-15% de iones sodio constituyendo los iones de cambio, son necesarios para afectar la estabilidad de la estructura del suelo y condicionar el movimiento del agua, provocando la dispersión de las partículas arcillosas/húmicas. La dispersión es el fenómeno por el cual las partículas coloidales se distribuyen homogéneamente en un medio dispersante, provocando - entre otros efectos- , la disminución en el tamaño de poros y consecuentemente, la velocidad de infiltración y permeabilidad. El proceso inverso, es decir coalescencia de partículas, es llamado floculación coloidal (Porta Casanellas *et al.*, 1994).

El problema se intensifica cuando además del porcentaje de iones sodio, se tiene en cuenta el carbonato sódico formado en la solución del suelo durante las etapas finales de la lixiviación de sales, logrando de esta forma un aumento de pH de la solución del suelo, a menudo por encima de 9, y como consecuencia facilitando aún más la dispersión de las partículas finas (Russell y Russell, 1964).

Russell y Russell (1964) comentan que el nivel de carbonato sódico puede ser perjudicial por si mismo, pero su efecto en el suelo probablemente este dado por las consecuencias que trae aparejado el elevado nivel de pH ocasionado. De esta forma, nutrientes como fosfato, hierro, zinc y manganeso se hacen inasimilables a pH alto, y además la estructura del suelo como se comentó con anterioridad, tiende a hacerse inestable al agua, lográndose de esta forma condiciones de baja permeabilidad, aireación reducida y laboreos muy difíciles o casi imposibles.

### *Técnicas de recuperación de suelos salinos - sódicos, aplicaciones de enmiendas cálcicas.*

Colacelli (1997) comenta que el objetivo de la corrección de los suelos salinos y sódicos es reemplazar los carbonatos ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) responsables de la alcalinidad, por sales como los sulfatos de  $\text{Na}^+$  que son fácilmente lixiviables en el perfil.

Las sustancias que pueden utilizarse como correctores son: Cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Azufre, Acido sulfúrico, Sulfato ferroso, Sulfato de aluminio, Polisulfuro de calcio y otros productos regionales como ser conchilla marina molida, espumas azucareras, etc...

El  $\text{CaCl}_2$  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. La reacción del yeso está limitada únicamente por su baja solubilidad en agua, la cual es alrededor del 25% a temperaturas normales, necesita además la presencia de una buena lámina de agua. 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, ya que a menor tamaño más rápida reacción. El polisulfuro de calcio, que es un líquido oscuro, debe como el azufre oxidarse primero hasta ácido sulfúrico para ser activo, por lo tanto es de reacción lenta. (Colacelli, 1997).

Ibañes (2008) resalta la importancia de un buen drenaje y lavado para mejorar este tipo de suelos. La incorporación de materia orgánica en el perfil también es considerada como una técnica interesante para la corrección de suelos, ya que integrada al suelo, mejora la estructura, aumenta la capacidad de cambio catiónico e incide en la oxidación del azufre.

Los suelos salinos sódicos padecen una destrucción de estructura, y por lo tanto al disminuir su porosidad, utilizar el lavado para su corrección no es muy aconsejable, debido a la deficiencia de su drenaje. La recuperación por tanto, tiene que ser abordada mediante la eliminación de sodio de cambio aplicando yeso (Ibañes, 2008).

Investigaciones realizadas sobre esta problemática por Moreno *et al.* (2006), concluyen que el agregado de enmiendas cálcicas a este tipo de suelos demuestra que comienzan a recuperarse disminuyendo el pH, observándose también cambios en la conductividad eléctrica y en la relación de adsorción de sodio (RAS), aunque, con el paso del tiempo, este efecto tiende a revertirse.

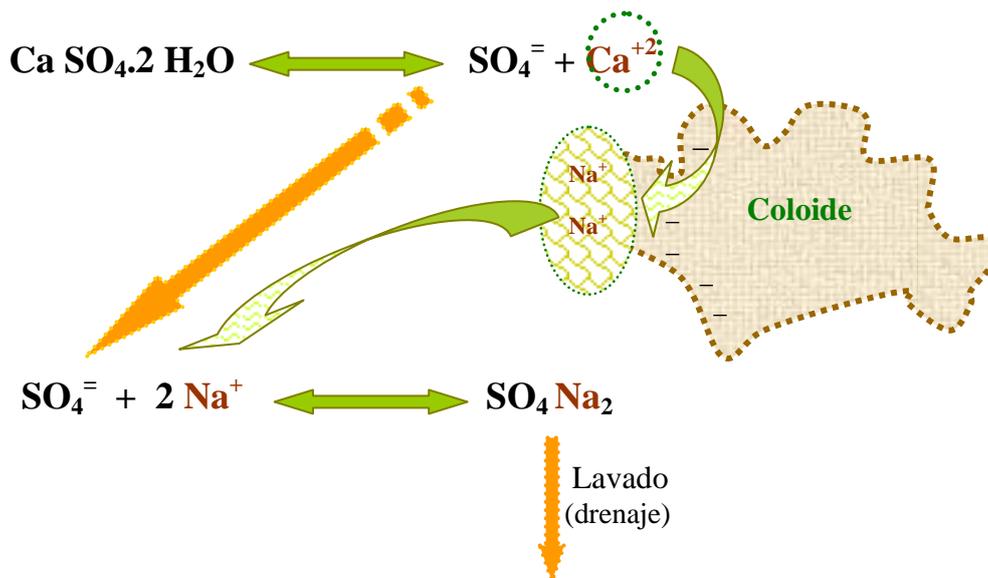
Los beneficios aportados por las aplicaciones de la enmienda, marcaron cambios significativos en los valores de índices de percolación, mostrando de esta forma recuperaciones de la estructura en la capa superficial. El yeso mejoró la entrada y el movimiento del agua en el suelo, favoreciendo así la disponibilidad de la misma para el desarrollo vegetal. Evidentemente la acción floculante del calcio junto con la disminución del sodio intercambiable y el aumento de la concentración de electrolitos en solución, permitieron una mejora en la estabilidad del sistema poroso (Loveday, 1984; Keren et al., 1983; Keren, 1996).

Consecuentemente, los cambios favorables en la estructura y la conformación del sistema poroso producidos por el yeso, con la consecuente mejora en el movimiento de agua y gases en el perfil, favorece la emergencia de los cultivos y el desarrollo radicular, aumentando la producción de materia seca (Quinteros et al., 2003).

### *Acción química de la enmienda utilizada en el suelo*

El yeso, ha sido la fuente de calcio más utilizada en el mejoramiento de los suelos afectados por sodio, debido a su bajo costo, y porque es capaz de aumentar la concentración de electrolitos y mantener la infiltración del suelo (Frenkel *et al.*, 1989). Una vez que la enmienda entra en contacto con la masa del suelo, comienza a reaccionar y actuar el yeso como corrector; en primera instancia, el calcio aportado por el yeso y mediante el intercambio catiónico, empieza a desplazar el  $\text{Na}^+$  adsorbido en los coloides del suelo, produciendo una reducción progresiva del pH. Este reemplazo se produce por que el catión bivalente tiene mayor preferencia de adsorptividad en el coloide, y por el efecto de concentración -incremento de iones de  $\text{Ca}^{+2}$  en la solución del suelo- producido por la aplicación del corrector (Niborski, 2000). Otra mejora que puede ocurrir, es en la tasa de infiltración del suelo, debido a la acción floculante que ejercen los cationes  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  -aumenta su concentración en la solución del suelo, reemplazando el  $\text{Na}^+$  intercambiable- en el sistema coloidal; esta mejora ocurre con cierta lentitud debido a la baja solubilidad y movilidad del yeso (Bressler *et al.*, 1982; Porta Casanellas *et al.*, 1994).

Por lo tanto, para concluir con una parcial rehabilitación del suelo, es necesario arrastrar el sulfato de sodio generado en la reacción de intercambio. (Figura 2).



**Figura 2:** Esquema de reacción de la enmienda cálcica en el sistema suelo.  
(Carranza, F. 2009)

A través de todo lo anteriormente descrito, en condiciones de secano, se considera que el proceso de recuperación parcial es lento, por lo tanto, es de interés contrastar efectos acumulados de aplicaciones de altas dosis de enmiendas cálcicas, con aplicaciones de dosis inferiores y distribuidas en el tiempo. En tal sentido, en este trabajo planteamos como hipótesis que el mejoramiento de la condición físico-química del perfil (CE, pH, RAS) que se lograría mediante el agregado de una dosis única ( $6000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) en 4 años o de una doble dosis (de  $2000 \text{ kg c/u}$ ) aplicada con un intervalo de 36 meses serían equivalentes.

## OBJETIVOS

El *objetivo general* de este trabajo es determinar el efecto del agregado de una segunda dosis de yeso sobre la condición físico – química de un suelo Haplustol típico con fase salina y alcalina en el área de Villa Maria – Córdoba.

Los *objetivos específicos* son:

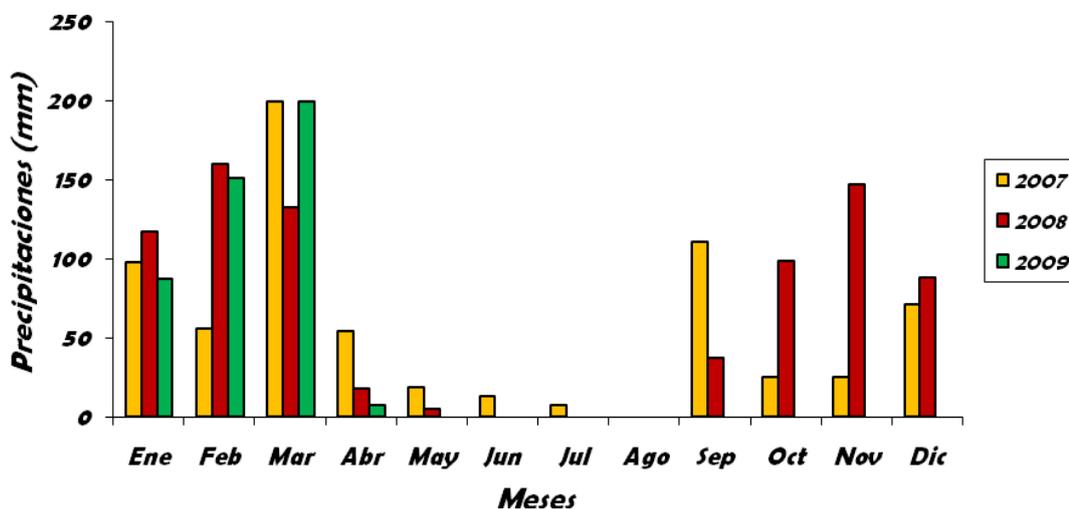
- Determinar en forma secuencial la variación en la conductividad eléctrica del suelo.
- Determinar en forma secuencial la variación del pH del suelo.
- Determinar al inicio y al final de la experiencia la relación de adsorción de sodio (RAS).

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

### *Caracterización del área en estudio*

El **área experimental** se encuentra ubicada entre 32° 29' LS y 63° 17' LO al este de la localidad de Arroyo Cabral, la misma se puede ubicar en la hoja Villa María, donde es intensa la manifestación de la problemática mencionada (INTA, 1987).

El **clima** es templado subhúmedo, las precipitaciones anuales promedio son de 799 mm y la distribución monzónica. La temperatura media anual es de 16,05 °C (INTA, 1987). La Figura 3, muestra la distribución de precipitaciones ocurridas en el período 2007-2009 correspondiente al presente trabajo.



**Figura 3:** Distribución de precipitaciones en la localidad de Villa María durante el período 2007- 2009. (INTA, 2009).

El **relieve** es subnormal, en un paisaje muy plano, con pendiente regional menor al 0,5 %, de dirección O-E.

Los **suelos** del área en estudio, están clasificados como *Haplustoles énticos* (Consociación Oncativo), según la Carta de Suelos de INTA (1987). Sin embargo, en el sector en estudio se encontró un desajuste entre lo citado en la cartografía y lo observado: el suelo por el grado de evolución puede clasificarse como *Haplustol típico*, con fases por alcalinidad y salinidad a distintas profundidades (Hampp, com. Personal). Es importante mencionar que este suelo forma parte de la Consociación Oncativo, pero series con características sódicas típicas (Natracualf), como son Cayuqueo y Ticino (INTA, 1987), se encuentran en cercanía de la zona en estudio (Bonadeo *et al.*, 2002).

La secuencia de horizontes y características de M y N se indican en las Tabla 1 y 2 respectivamente.

Se puede apreciar de las Tablas expuestas (1 y 2), que en M la profundidad efectiva del perfil para el enraizamiento del cultivo se encuentra más limitada que en N. En cuanto a características estructurales no se marcan diferencias entre las dos áreas consideradas, sin embargo como ya se ha mencionado, las condiciones químicas presentes en M afectan el grado de dispersión-floculación del coloide. Los valores de materia orgánica en los dos casos disminuyen con el aumento en profundidad, pero es importante destacar que en M la disminución es más abrupta; en N también se aprecia un descenso abrupto entre el primer y segundo horizonte, pero hasta los 60 cm de profundidad se encuentran valores mayores a 1% de materia orgánica.

Analizando las características químicas, se observa que en N se mantienen valores normales de CE en todo el perfil; sin embargo en M ya a los 40 cm de profundidad los horizontes son considerados ligeramente salinos. En cuanto a pH, los valores son similares en las dos situaciones, la diferencia radica en la profundidad que se presentan los mismos y el grado de afección que pueden causar al vegetal sobretodo en la disponibilidad y toma de nutrientes. En N el pH supera a 9 a partir de los 60 cm, en contraposición, M presenta pH mayor a 9 a partir de los 25 cm de profundidad.

**Tabla 1:** Características del suelo del ensayo en M (Bonadeo et al., 2002).

Horizonte	Prof. (cm)	Textura	Estructura (Subtipo)	MO (%)	CE (dS m <sup>-1</sup> )	pH
A	0-24	Franco limoso	Bloques subang.	2.37	0.6	7.26
Bw1	24-43	Franco limoso	Bloques subang.	0.99	1.21	9.14
Bw2k	43-76	Franco limoso	Bloques subang.	0.93	2.28	9.83
Ck	76 a +	Franco limoso	Masivo	0.63	4.76	9.85

Se detectaron carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) a los 34 cm de profundidad

**Tabla 2:** Características del suelo del ensayo en N (Bonadeo *et al.*, 2002)

Horizonte	Prof. (cm)	Textura	Estructura (Subtipo)	MO (%)	CE (dS m <sup>-1</sup> )	pH
A	0-26	Franco limoso	Bloques subang.	2.64	0.60	6.88
Bw	26-37	Franco limoso	Bloques subang.	1.32	0.32	7.80
Bwk	37-55	Franco limoso	Bloques subang.	1.16	0.65	8.62
BCk	55-90	Franco limoso	Bloques subang.	0.95	0.54	9.33
Ck	90 a +	Franco limoso	Masivo	0.84	0.78	9.56

Se detectaron carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a los 63 cm de profundidad

La **capa freática** oscila en los 2,5 m de profundidad y contiene diferentes sales sódicas. La CE de la misma en las áreas normales es de 2,8 dS m<sup>-1</sup>, mientras que para el manchón, asciende hasta los 7,6 dS m<sup>-1</sup>. En la situación N, el anión dominante es el sulfato, mientras que en el M es el bicarbonato. El catión dominante tanto en N como en M, es el sodio. Esto explica las diferencias de pH en el suelo, ya que, si bien las sales son predominantemente sódicas, en N son hidrolíticamente neutras (sulfatos), mientras que en M son alcalinas (bicarbonatos) (Bonadeo *et al.*, 2006).

### *Especificaciones del ensayo realizado*

El lote seleccionado para la experiencia tenía implantada una pastura de alfalfa (*Medicago sativa L.*), cv. Araucana (grupo 8-9).

El estudio se realizó en M, sobre un ensayo implantado en enero de 2005, al cual se había aplicado yeso (Sulfatos: 37.13% - Calcio: 18.50% Título: 67%) definiendo tres tratamientos: Testigo -**T**- (sin aplicación), Dosis Agronómica -**DA**- (2000 Kg/ha) y Dosis Máxima -**DM**- (6000 Kg/ha). Cada bloque está ubicado en un manchón diferente.

Es de importancia aclarar que en esta primer instancia de aplicación, **DM** se aproximó utilizando el método propuesto por Yágodin *et al.* (1986). En tanto, para **DA** se tuvieron en cuenta aspectos prácticos, relativos a la facilidad de aplicación y aspectos económicos.

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

En la Tabla 3 se presenta los tratamientos aplicados, las dosis y la cantidad de elemento puro aportado al suelo.

**Tabla 3:** *Tratamientos realizados y dosis aplicadas en el año 2005.*

Año 2005	Tratamientos		
	Testigo (T)	Dosis agronómica (DA)	Dosis Máxima (DM)
Dosis aplicada (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O).	0 kg/Ha	2000 Kg/Ha	6000 Kg/Ha
Dosis pura (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O).	0 kg/Ha	1340 kg/Ha	4020 Kg/Ha
Sulfatos aportados	0 kg/Ha	497,54 Kg/Ha	1492,6 Kg/Ha
Calcio aportado	0 kg/Ha	247,9 Kg/Ha	743,7 Kg/Ha

El día 07 del mes de Abril del año 2008 se realizó el reenyesado de las unidades experimentales **-DA**, denominándolas **DD** (doble dosis) - aplicando nuevamente 2000 kg/ha. Cabe aclarar, que en la discusión de resultados se denomina **DD** desde el primer muestreo, aunque aún la nueva aplicación de yeso no se había realizado.

La enmienda se aplicó en superficie y al voleo.

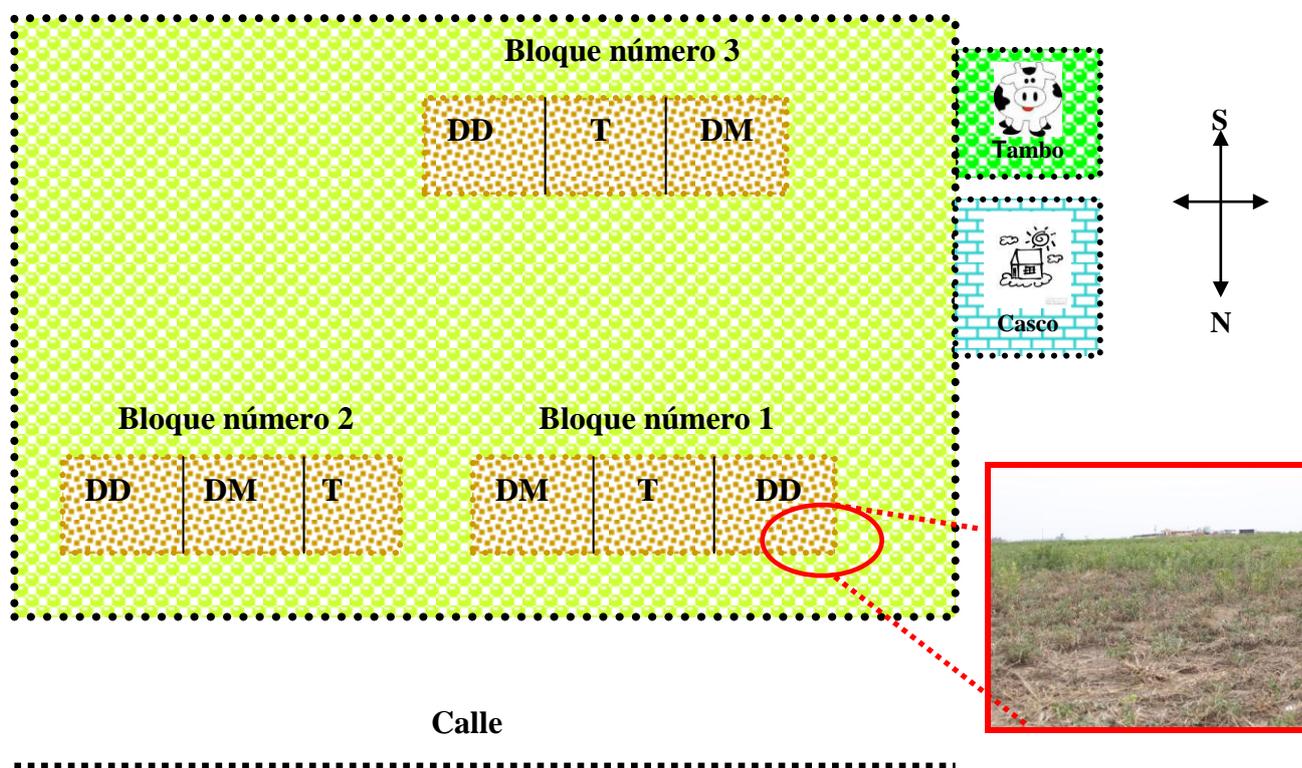
En la Tabla 4 se muestran los tratamientos considerados en este trabajo y las respectivas dosis aplicadas de enmienda y cantidades de elemento puro aportado.

**Tabla 4:** *Tratamientos realizados y dosis aplicadas en el presente trabajo, año 2008.*

Año 2008	Tratamientos		
	Testigo (T)	Doble Dosis (DD)	Dosis Máxima (DM)
Dosis aplicada (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O).	0 kg/Ha	2000 Kg/Ha	0 kg/Ha
Dosis pura (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O).	0 kg/Ha	1340 kg/Ha	0 kg/Ha
Sulfatos aportados	0 kg/Ha	497,54 Kg/Ha	0 kg/Ha
Calcio aportado	0 kg/Ha	247,9 Kg/Ha	0 kg/Ha

La superficie de cada unidad experimental fue de 49 m<sup>2</sup> (7x7), mientras que el área de muestreo de 25 m<sup>2</sup> para evitar la influencia de los bordes. La dimensión seleccionada contempla que los muestreos correspondientes no afecten la evolución del yeso.

El **diseño estadístico** es en bloques completos al azar con tres repeticiones, quedando definido como lo muestra la Figura 4.



**Figura 4:** Esquema de la distribución de bloques en el lote y las repeticiones de tratamientos dentro de ellos. La foto muestra la diferencia de producción de materia seca en las dos situaciones encontradas, M y N.

#### *Técnicas analíticas*

- *Conductividad Eléctrica:* relación suelo agua 1:1 (Klute, 1986).
- *pH:* potenciométrico, relación suelo agua 1:1 y 1:2.5 (Klute, 1986).
- *Calcio, Sodio y Magnesio en el extracto de saturación* (Richards, 1965) por espectro fotometría de absorción atómica.

La pasta saturada se logra agregando agua destilada a la muestra de suelo y agitando con una espátula. Al saturarse la pasta, brilla por la reflexión de la luz y fluye ligeramente si se inclina el recipiente. Luego de mezclar se deja reposar. La pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse durante el reposo. Por último, se coloca la pasta en

embudos con papel de filtro y se aplica vacío, el extracto se recolecta en tubos de ensayos y luego por espectrofotometría de absorción atómica se cuantifican los elementos de interés. (Richards, 1965).

### *Crterios de interpretaci3n de resultados*

❖ **Conductividad el3ctrica.** El an3lisis de la **conductividad el3ctrica** en suelos se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinaci3n normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorci3n de agua por parte de las mismas. Este par3metro indica indirectamente el nivel de cationes y aniones que tiene la soluci3n del suelo. Cuanto mayor sea la cantidad de iones disueltos, mayor ser3 su conductividad.

La conductividad el3ctrica es la inversa de la resistencia del suelo al paso de la electricidad. En este trabajo indica el nivel de sales y el grado de disoluci3n del yeso.

❖ **pH.** La concentraci3n de iones hidr3geno es una propiedad importante cuando se estudia un suelo. El **pH** se utiliza como un indicador de la concentraci3n de los iones hidr3geno en el suelo. Es un par3metro que interviene en muchas de las actividades qu3micas y biol3gicas que ocurren en el suelo y tiene una influencia indirecta en el desarrollo de las plantas. Adem3s, el pH del suelo esta estrechamente relacionado con el contenido de sodio presente en el mismo.

Como se coment3 en un comienzo, seg3n el pH del suelo, la disponibilidad de ciertos nutrientes puede favorecerse.

❖ La **concentraci3n de Na<sup>+</sup>** se puede medir en la soluci3n del suelo o en el complejo de cambio. En el primer caso se lo utiliza para calcular la raz3n de adsorci3n de sodio (RAS), y en el segundo el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

○ **Porcentaje de sodio intercambiable.** En los suelos es muy importante determinar el tipo de cationes que predominan en el complejo adsorbente (si es el Ca<sup>+2</sup> o por el contrario el Na<sup>+</sup>). El porcentaje de Na<sup>+</sup> respecto a la CIC, se denomina porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

$$PSI = 100 \times Na^+ / CIC$$

siendo CIC la capacidad de intercambio de cationes.

Se considera que un suelo puede empezar a sufrir problemas de sodificaci3n y dispersi3n de la arcilla cuando el PSI > 15%.

○ **Razón de adsorción de sodio (RAS)**. Otra manera de determinar la sodicidad es evaluar la concentración de  $\text{Na}^+$  en la solución del suelo en vez de medir su concentración en el complejo adsorbente como hace el PSI. Para estimar así el grado de sodicidad se propone la razón de adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en meq.

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

A partir del RAS se puede calcular el PSI (Richards, 1973):

$$PSI = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 * RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * RAS)}$$

La importancia de cuantificar la presencia del catión  $\text{Na}^+$ , radica en la influencia de éste en la estructura del suelo y consecuentemente en la aireación e infiltración del mismo. De esta forma, condiciona indirectamente el normal desarrollo del vegetal presente en suelos con elevadas cantidades del elemento en cuestión.

A continuación se muestran en la Tabla 5, los valores considerados para la clasificación de suelos según los parámetros estudiados.

**Tabla 5:** Clasificación de suelos salinos y sódicos utilizada en el trabajo (Richards, 1973).

Parámetros	Clases de suelo			
	Salino	Normal	Sódico	Salino - Sódico
pH	< 8,5	< 8,5	> 8,5	> 8,5
C.E. (dS/m)	> 4	< 4	< 4	> 4
P.S.I. (%)	< 15	< 15	> 15	> 15

### **Muestras**

Los muestreos fueron realizados en Febrero y Septiembre del año 2008, Enero y Mayo del año 2009.

En cada manchón y para cada uno de los tratamientos, el suelo se muestreo a dos profundidades: de 0-24 cm y de 24-43 cm de profundidad. De todas las muestras obtenidas

se obtuvieron datos de pH y conductividad eléctrica; solamente se sometieron a análisis de RAS a las muestras del primer y último muestreo.

La secuencia de muestreos que se realizaron, no tuvieron un patrón temporal fijo o predeterminado. Se tuvo en cuenta el momento de ocurrencia de precipitaciones, para facilitar la extracción de muestras, debido a la extrema dureza de estos suelos cuando su contenido hídrico es bajo.

### *Análisis y Procesamiento de Resultados*

Los resultados se analizaron con software Infostat (versión 2009). Las medias se separaron con el test LSD de Fisher.

## RESULTADOS Y DISCUSION

- **CE**

- \* *Causas de la variación de la CE con el tiempo y profundidad.*

En condiciones de campo, la distribución de la salinidad en un suelo varía a lo largo del año y en función de la profundidad considerada. Las lluvias provocan un flujo descendente del agua en el suelo y con él un lavado de sales. En un momento determinado, la evapotranspiración hará que el flujo se invierta y se produzca un reascenso de sales (Porta Casanellas *et al.*, 1999).

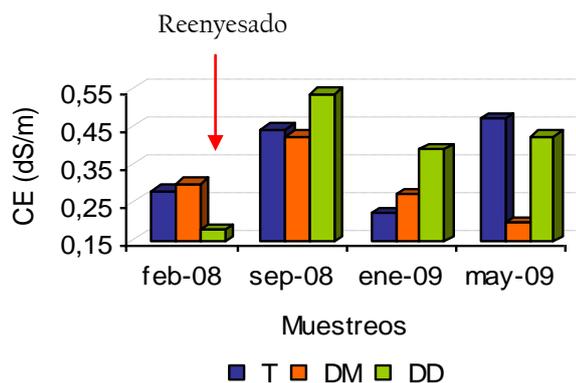
Al observar las Figuras 5 y 6, se aprecia que para todos los tratamientos la CE aumenta en los meses donde las precipitaciones son deficitarias, esto es debido al ascenso de sales que se producen en el perfil por la demanda evaporativa del ambiente.

También se observa que los valores de CE registrados en profundidad (Figura 6), son siempre superiores a los de la superficie (Figura 5). La explicación a este problema radica en que, en horizontes más profundos la percolación disminuye debido a la baja permeabilidad existente en el suelo por la dispersión que ha provocado el ión sodio en los coloides (Tabla 1), logrando de esta forma una mayor concentración de sales solubles a partir de los 24 cm aproximadamente.

- \* *Situación de CE antes de aplicada la segunda dosis de yeso.*

A nivel superficial en febrero (Figura 5), la **DM** toma valores semejantes al **T** esto puede ser explicado por el lixiviado de la enmienda en el perfil, producto de la alta dosis y su efecto sobre la floculación del coloide. Por lo que, los valores obtenidos son consecuentes con el agotamiento de la enmienda.

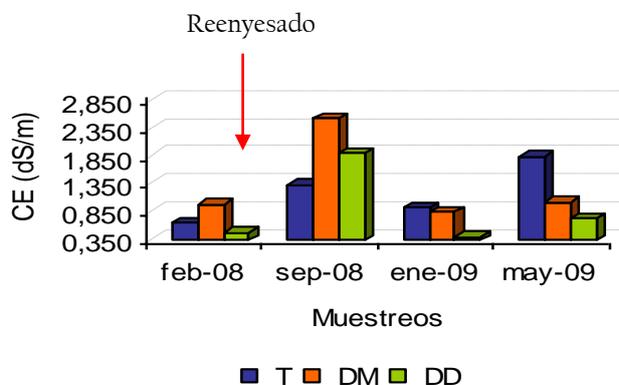
Por su parte **DD**, manifiesta un valor de CE inferior a **DM** y **T**. La explicación a esto, es la diferencia en dosis aplicada en este tratamiento en el año 2005 (2000 Kg. /ha), respecto a **DM**. Causando de esta forma, procesos de floculación, ingreso de la enmienda en el perfil y agotamiento de la misma más lentos respecto a **DM**.



**Figura 5:** CE 0-24 cm de profundidad.

En febrero y en la segunda profundidad muestreada (24-43 cm), **DM** expresa un valor superior a los otros dos tratamientos (Figura 6). Como se mencionó anteriormente, puede llegar a relacionarse con el descenso y acumulación de la enmienda en el perfil. Hay que considerar que al no tener incorporación mecánica, depende completamente de las precipitaciones. Por lo tanto, el yeso habría llegado a estas profundidades, y por la cantidad aplicada en el año 2005 (6000 kg/ha) sumado a la baja permeabilidad que presentan originariamente estos suelos a partir de los 24 cm aproximadamente, la conductividad aumenta por acumulaciones de enmienda.

**T** y **DD** se asemejan en profundidad, sin embargo la menor CE la marca **DD**. Este valor inferior respecto a **T** y **DM**, es debido a que la enmienda no se acumuló como sucedió en **DM**. Anteriormente se explicó, que una aplicación de yeso menor logra que los procesos sean más suaves y permitan un mejor lixiviado en el perfil, obteniendo mejores resultados en la CE.



**Figura 6:** CE 24-43 cm de profundidad.

\* *Cambios en CE a partir del reenyesado.*

Si bien las diferencias en superficie para todas las fechas de muestreo y entre tratamientos no son significativas (ver anexos), a través de las Figuras 5 y 6, y valores registrados, se observa el efecto en la conductividad eléctrica que produce una aplicación de yeso en el suelo. Las leves incorporaciones de la enmienda dentro del perfil, marcan tendencias hacia el aumento de la conductividad como consecuencia del agregado de nuevas sales al sistema.

En la Figura 5 antes del mes de septiembre, se observan claramente consecuencias en la CE de las dos aplicaciones realizadas en las diferentes fechas del ensayo (2005 y 2008). Por un lado, se ve el agotamiento de enmienda que existe en **DM** –ya que sus valores igualan al **T**-; y por otro, la nueva aplicación de yeso en **DD** logra un aumento abrupto en la CE del suelo en el momento que comienza su disolución en el perfil.

De 0-24 cm los mayores valores de CE se dan en **DD**, producto del ingreso de nuevas sales al sistema. Lo importante es que los 800 mm aproximados de precipitaciones ocurridas entre septiembre y mayo, lograron disminuir la CE de los tratamientos frente al **T**.

A partir de los 24 cm las diferencias de CE son significativas entre tratamientos y fechas de muestreos (ver anexos). En enero y febrero se registra la menor CE en **DD** y en septiembre se registra la mayor conductividad en **DM**. Por lo tanto, es muy notorio en los meses de déficit hídrico, la estrecha relación entre la concentración de sales en cada tratamiento y la dosis aplicada.

**DM** y **DD** en septiembre, poseen valores de CE superiores a **T** (Figura 6). **DM** expresa la acumulación en profundidad del yeso que ha penetrado en el perfil, **DD** muestra que ha recibido aplicaciones también pero de menores magnitudes. Es de esperar que los valores de CE de **DD** obtenidos a esta profundidad no provengan de la disolución del yeso aplicado por segunda vez, por la lentitud del proceso y por el poco tiempo que ha transcurrido desde la nueva aplicación. Estos resultados, se atribuyen a la baja permeabilidad en estas profundidades.

Culot (1986), menciona que CE mayores a 2 dS/m reducen el rendimiento en pasturas de alfalfa. Por lo tanto, retomando los valores de **DM**, en septiembre y en profundidad, se observa que superan dicho límite de tolerancia. El aumento en profundidad de CE, como comentaron Pearson y Bauder (2003), estaría limitando la exploración de raíces en el perfil y el crecimiento de las mismas hacia horizontes más profundos, disminuyendo la eficiencia del vegetal en el uso del agua. Porta Casanellas *et al.* (1999), resaltan la importancia del conocimiento de la profundidad del perfil salino que tendrá mayor influencia en la respuesta de una planta a la salinidad, ya que la zona radicular participa en forma desigual en el suministro de agua a la planta.

En el mes de enero ya se nota la influencia de las precipitaciones en la dilución de las sales existentes, por lo que se observa claramente un abrupto descenso en los valores de CE. **DD** disminuye con respecto a **DM** y **T**, este efecto se atribuye al primer agregado de yeso, donde la cantidad del mismo no fue tan elevada, logrando paulatinamente un mejor resultado en el descenso de las sales. (Figuras 5 y 6).

Al finalizar el período del ensayo, mayo 2009, se observa el efecto de la enmienda sobre la CE. En **T** al no haber recibido nunca un aporte de yeso, arroja los valores de CE mayores mostrando de esta forma una menor profundización de sales en el horizonte, y una mayor acumulación y concentración de las mismas en épocas de déficit hídrico.

En síntesis, se concluye que existe una variación estacional de la CE (independientemente del tratamiento) relacionada al balance hídrico del ambiente. Además, en profundidad, la CE siempre aumenta debido a la disminución de la permeabilidad por el aumento del PSI. Por otra parte, el agregado de una nueva dosis de yeso, provoca aumento de CE en la primera profundidad estudiada no encontrándose efectos notorios en la segunda. Y finalmente, en las dos profundidades evaluadas, **T** arrojó mayores valores que **DD** y **DM** lo que evidencia el efecto mejorador de la enmienda.

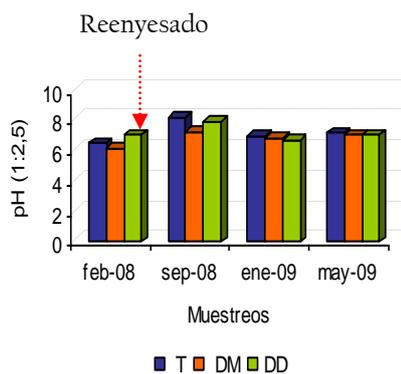
- **pH.**

\* *Variación de pH con el tiempo.*

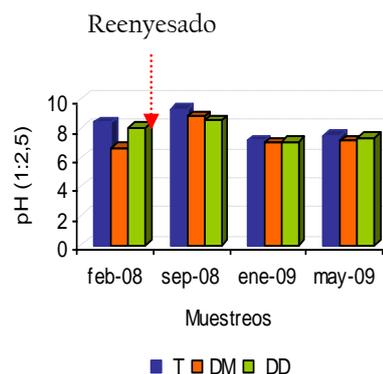
El pH del suelo es un parámetro variable en el tiempo. El origen de sus fluctuaciones puede estar relacionado con diferentes procesos. Por un lado, la actividad por parte de los microorganismos presentes en el suelo y la consecuente acidificación del mismo. Por otro, el anhídrido carbónico excretado por las raíces favoreciendo la formación de ácido carbónico (Russell y Russell, 1964).

Sin embargo, Russell y Russell (1964) comentan que los suelos únicamente pueden tener un pH superior a 8,4 si contienen cantidades importantes de sodio cambiante. De esta forma, se concluye que el PSI es el factor de mayor importancia e influencia en el pH de los suelos sódicos-salinos.

En las Figuras 7 y 8, se puede observar que aplicaciones de enmiendas cálcicas, producen un descenso de pH en el suelo. A lo largo del período en estudio, se mantienen las mismas tendencias del parámetro analizado para las diferentes dosis y como era de esperar los valores del testigo son casi siempre superiores a los tratamientos.



**Figura 7:** Variación del pH en el tiempo entre 0-24 cm de profundidad



**Figura 8:** Variación del pH en el tiempo entre 24-43 cm de profundidad

\* *Situación del pH antes de aplicada la segunda dosis de enmienda.*

Se puede observar en las Figuras 7 y 8, en febrero y a las dos profundidades estudiadas, el efecto residual de las dosis utilizadas en los tratamientos realizados en el año 2005 (pH más bajos se registran para **DM**). Los valores de **DD** y **T** en profundidad (Figura 8) se asemejan entre si, debido posiblemente a que luego de transcurrido un tiempo de la primera aplicación, el pH vuelve a ascender y tomar valores cercanos a **T**. La hidrólisis del yeso libera electrolitos acidificantes a la solución. Luego de transcurrido un tiempo, la acción de la enmienda disminuye por el agotamiento de la misma en el suelo. Existe una disminución de la liberación del anión sulfato, principal responsable de la reducción de pH (Quinteros et al., 2003).

\* *Cambios en el pH a partir del reenyesado.*

A partir de septiembre se nota el efecto del nuevo agregado de yeso. Sin dejar de considerar los efectos logrados con la primera aplicación, se observa que los valores superiores de pH se registran en **T** y en las dos profundidades.

La disminución del pH comienza a manifestarse a partir de septiembre pudiendo estar relacionado con lo comentado en un principio sobre el efecto que pueden causar las raíces y la actividad de los microorganismos en las variaciones de pH. El fuerte rebrote del cultivo en esta época, provocaría una alta producción de anhídrido carbónico y las precipitaciones contribuirán con el lavado del bicarbonato formado.

Los descensos más abruptos se registran hasta enero (Figuras 7 y 8), donde la acción del yeso es marcada ya que la cantidad de las precipitaciones ocurridas en esas fechas,

posibilitó la penetración de la enmienda en el perfil e interacción con el suelo. Costa y Godz (1999) comentan que en tratamientos con yeso los sulfatos predominan entre los aniones debido a la enmienda presente y en el **T** predomina el ácido carbónico, esto también explicaría las diferencias de pH entre tratamientos

En mayo, el pH en las dos profundidades tiende a la neutralidad con un leve ascenso en las épocas de menores precipitaciones. Costa y Godz, (1999) atribuyen este mínimo aumento en los valores de pH después de un tiempo de aplicada la enmienda, a la completa disolución de yeso y lavado de sulfatos, lo cual, una vez ocurrido provoca el predominio nuevamente del bicarbonato especialmente a partir de los 24 cm.

Cabe aclarar, que en la segunda profundidad muestreada y en todo el período de estudio, los registros de pH han sido superiores a los observados en la superficie. Estos resultados estarían relacionados directamente con el mayor PSI presente en este horizonte.

*\* Efectos en pH según tratamiento y profundidad.*

Una mayor dosis de yeso, aporta al suelo mayores cantidades de sulfato, provocando disminuciones marcadas en el pH y aumentos importantes en la CE. Este efecto comentado se puede ver en la Figura 6, donde **DM** acusa el mayor valor de CE en casi todas las fechas de muestreo, y en la Figura 8, **DM** es quien registra en la mayoría de los muestreos el menor pH. Es importante aclarar, que para este tratamiento, y para marcar esta relación, se tomó la segunda profundidad muestreada (24-43 cm), ya que al no haberse aplicado nuevamente la enmienda se encontraría acumulada a ese nivel y quizá aún más profunda.

El pH muestra diferencias significativas entre tratamientos y fechas de muestreo en las dos profundidades analizadas, observándose estos resultados en la Figura 7 y 8.

En la Figura 7, **T** alcanza el mayor valor de pH en superficie en una época donde las precipitaciones recién comenzaron a manifestarse (septiembre). Por su parte, **DD** se encuentra cercana a **T** pero con valores menores que éste, ya que la enmienda comienza a marcar su efecto. En **DM**, quizá exista la posibilidad de que la alta dosis de enmienda aplicada en el año 2005 haya provocado mejoras en la permeabilidad y porosidad del perfil, logrando una mejor exploración de raíces y mayor actividad de microorganismos del suelo, manteniendo de esta forma valores inferiores de pH en relación a **DD** y **T**.

El nuevo aporte de yeso, provoca que en enero sea **DD** quien registre el menor pH en superficie. Al finalizar el período del ensayo, los tratamientos y **T**, marcan un leve ascenso en el pH tomando valores semejantes y cercanos a la neutralidad (Figura 7).

En la Figura 8 se observa que los dos tratamientos en septiembre, arrojan valores semejantes e inferiores al **T**. **DD** se encuentra por debajo de **DM**, encontrando una

explicación a este resultado al ver, en la Figura 14, los menores valores del ión  $\text{Ca}^{+2}$  que presenta **DD** con respecto a **DM**. Posiblemente el mayor valor de **DM**, mantenga una importante relación con la gran cantidad de yeso que se aportó al suelo en el año 2005. Costa y Godz, (1999) comentan que a mayor concentración de calcio mayor pH, y al aumentar los bicarbonatos de sodio aumenta el pH. Por lo tanto, el valor de pH inferior de **DD** (con relación a **DM** y **T**) se podría relacionar con la menor concentración de  $\text{Ca}^{+2}$  que presenta este tratamiento. Además **DM**, quizá al presentar alguna mejora en la infiltración del suelo, con el comienzo de las precipitaciones, ayude al lavado y aporte de bicarbonatos de sodio en profundidad, logrando un valor de pH levemente superior a **DD**.

En enero, el valor más bajo lo arroja **DM**. En este tratamiento los bicarbonatos de sodio pueden haber seguido descendiendo en el perfil y el valor de pH se mantiene bastante estable hasta que culminó el período del ensayo. **DD** marca un leve ascenso y se lo relaciona también con la participación de los bicarbonatos, ya que éstos con un mayor aporte de precipitaciones han alcanzado penetrar hasta esta profundidad.

Finalmente en mayo, como se planteo anteriormente, el pH de los tratamientos y el **T** tienden a marcar un suave ascenso, manteniéndose **DM** por debajo de **DD** y **T**.

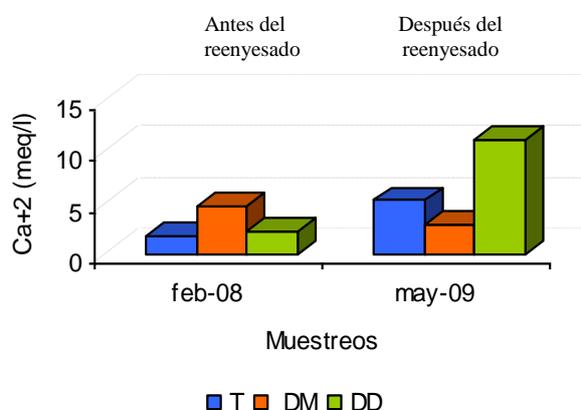
Sintetizando lo anteriormente analizado, se concluye que la mayor influencia en las variaciones del pH en los suelos sódicos es ejercida por el valor de PSI. Estos suelos si son tratados con enmiendas cálcicas, luego de transcurrido un tiempo considerable desde el tratamiento, el pH tiende a tomar valores semejantes al testigo por efecto de un agotamiento del ión sulfato y lavado de los mismos en el suelo. La aplicación de una segunda dosis de yeso sumado al efecto logrado con una primera aplicación, logra tanto en superficie como en profundidad, acercar el valor de pH a 7. Por último, al final de la época evaluada y en las dos profundidades, **T** arrojó mayores valores que **DD** y **DM** lo que evidencia el efecto mejorador de la enmienda.

- **$\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^{+}$  en solución.**

- \* *Resultados y efectos esperados en función del tiempo*

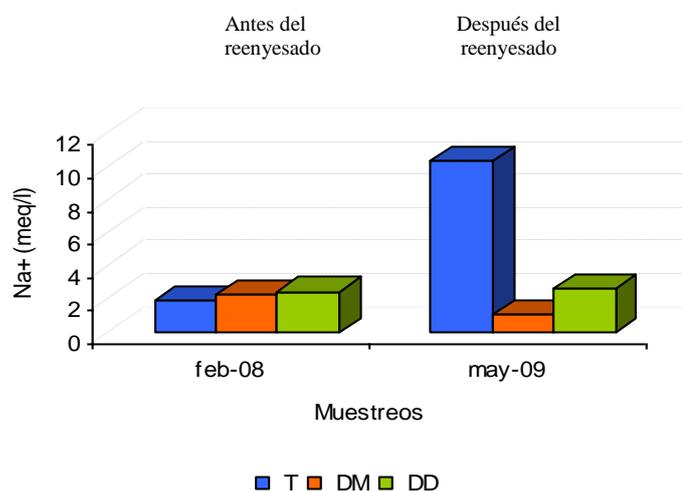
En los suelos tratados con enmiendas cálcicas, se espera que en un primer momento el  $\text{Ca}^{+2}$  aumente y luego con el tiempo en solución éste disminuya (debido al intercambio producido con sodio en el coloide), y el  $\text{Na}^{+}$  marque un aumento y luego descienda por el propio lavado de la sal formada ( $\text{SO}_4 \text{Na}_2$ ). Lo mencionado con anterioridad queda explicado claramente en el tratamiento **DM**, donde luego de 3 años el calcio en solución sigue

disminuyendo (Figura 9), sodio descende en superficie (Figura 10) y consecuentemente aumenta en profundidad (Figura 14).



**Figura 9:** Calcio presente en solución, según fecha y tratamiento. (Profundidad 0-24 cm).

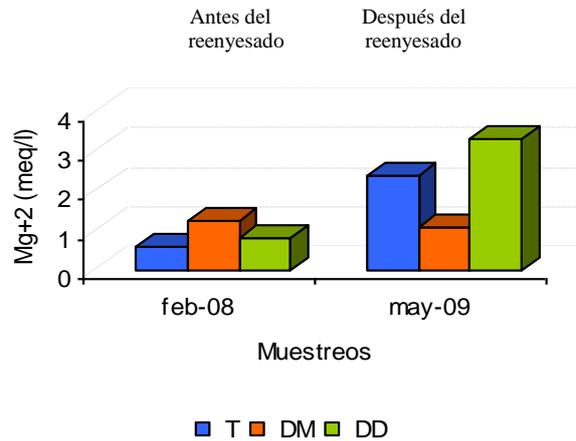
A partir de una nueva aplicación de enmienda, es de esperar que ocurra un cambio más brusco en DD y sobretodo en los primeros cm del suelo. En un principio, se verán aumentos de Ca<sup>2+</sup> (Figura 9), y luego de transcurrido un tiempo mayor, aumenta el Na<sup>+</sup> con disminuciones leves en Ca<sup>2+</sup>.



**Figura 10:** Sodio presente en solución, según fecha y tratamiento. (Profundidad 0-24 cm).

\* *Situación inicial antes del reenyesado según tratamientos.*

Antes del nuevo agregado de yeso,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en **DD** arrojaban valores semejantes al testigo en las dos profundidades (Figuras 9, 11, 12 y 14). Esto es debido a que la aplicación que se realizó en el 2005, era una dosis baja respecto a **DM**, por lo que la enmienda se agotó antes y su efecto también finalizó con anterioridad.



**Figura 11:** *Magnesio presente en la solución, según fecha y tratamiento. (Profundidad 0-24 cm.)*

Si se observa la cantidad de  $\text{Na}^{+}$  en febrero para **DD** (0-24 cm), indica que se ha producido el intercambio esperado con la enmienda, pero más lentamente que lo sucedido en **DM**. Además, posiblemente la mayor floculación del coloide se vea favorecida con dosis de enmienda elevadas, permitiendo un mejor arrastre y lixiviado en el perfil. De esta forma, **DM** presenta una mejor permeabilidad permitiendo que las sales descendan satisfactoriamente en profundidad, efecto no logrado en **DD**.

Las Figuras 12, 13 y 14 muestran que en profundidad (24-43 cm), **DM** arroja los valores más altos tanto en  $\text{Ca}^{+2}$ , como en  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en el mes de febrero. Los valores elevados de calcio y magnesio se deben a la llegada y acumulación de yeso a este horizonte, marcando la lentitud del proceso y la disminución en la permeabilidad existente en esta profundidad, donde la cantidad elevada de  $\text{Na}^{+}$  imposibilita el drenaje y consiguiente descenso de sales.

*\* Variación de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$  a partir del reenesado, según tratamiento y profundidad*

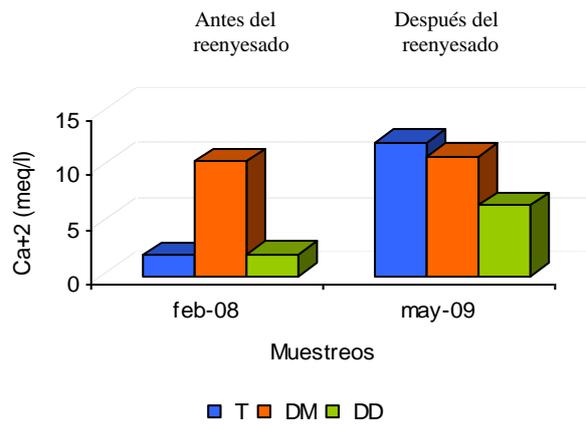
En la primera profundidad muestreada (0-24 cm), si bien no se registraron valores con diferencias significativas en  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$ , en las Figuras 9, 10 y 11 se observa el efecto y variación de cada uno de estos elementos como consecuencia de las aplicaciones de yeso realizadas (ver anexos).

Al finalizar el período del ensayo, se observa que el  $\text{Na}^+$  de **DD** en superficie tiende a aumentar levemente (Figura 10). Por su parte,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  marcan un incremento más notorio (Figuras 9 y 11). Estos valores indican la incorporación del yeso a la solución del suelo y sus recientes interacciones con los demás elementos presentes. Los valores de  $\text{Na}^+$  que permanecen bastantes constantes, indican que todavía el desplazamiento por el  $\text{Ca}^{+2}$  no ha sido de gran magnitud.

Independientemente del tratamiento y la dosis aplicada, es importante destacar que los descensos y aumentos que existen en  $\text{Ca}^{+2}$ , son semejantes a los del  $\text{Mg}^{+2}$ . Esto se da por el alto potencial iónico de estos elementos, por lo que su adsorbancia y preferencia en el complejo de intercambio es similar (Hampp, 2006) (Figuras 9 y 11).

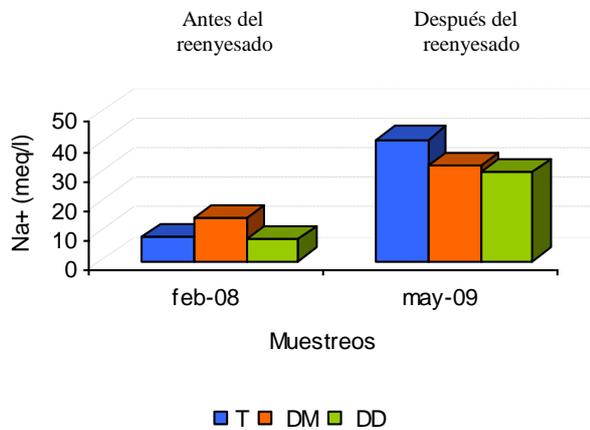
A partir de los 24 cm, si bien los valores de  $\text{Ca}^{+2}$  no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, **DD** presenta la menor cantidad de  $\text{Ca}^{+2}$  y el mayor valor observado se da en **DM**. Para  $\text{Na}^+$  se encontraron diferencias significativas solamente entre fechas de muestreo, la menor cantidad de  $\text{Na}^+$  se registra en febrero y la mayor se da en mayo. Por su parte  $\text{Mg}^{+2}$ , tampoco arrojó diferencias significativas en la segunda profundidad muestreada (ver anexos).

En **DD** el  $\text{Ca}^{+2}$  tuvo una variación importante pero no de la magnitud que se dio en superficie, indicando que este elemento penetra lentamente en el perfil llegando a esta profundidad (Figura 12).



**Figura 12:** Calcio presente en solución, según fecha y tratamiento. (Profundidad 24-43 cm.).

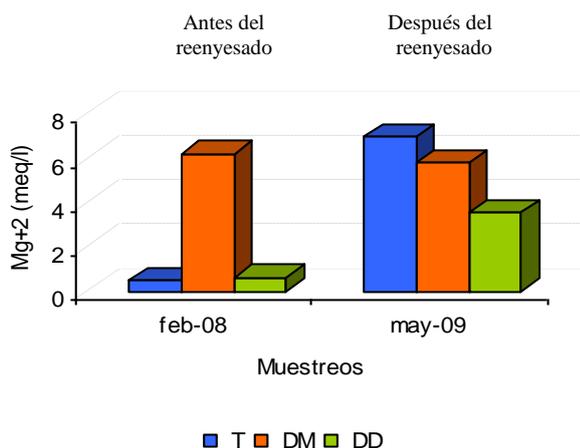
Si se observan los valores de  $\text{Na}^+$  (Figura 13), se podría correlacionar su alto valor con lo antes señalado, la baja permeabilidad del horizonte imposibilita de alguna forma que el sodio que fue removido en superficie siga descendiendo a capas más profundas.



**Figura 13:** Sodio presente en solución, según fecha y tratamiento. (Profundidad 24-43 cm.).

En la Figura 13, **T** es el que más cantidad de  $\text{Na}^+$  presenta, justificando de esta forma la tendencia a la acción positiva que ejerce la aplicación de una enmienda cálcica en suelos de este tipo. En mayo, los valores de **DD** y **DM** en profundidad tienden a asemejarse bastante.

Por último, es importante señalar que uno de los objetivos en este trabajo es lograr la disminución de la cantidad de  $\text{Na}^+$ , por el efecto desfavorable que provoca en la estructura del suelo y consecuentemente en el vegetal. En este tipo de suelos el mayor problema de sodio se da a partir de los 24 cm aproximadamente, y si se observa a esa profundidad el menor valor registrado de este elemento se da en **DD** (Figura 13). Esto resalta la importancia de la cantidad, el momento justo y la frecuencia que se deberían llevar a cabo las aplicaciones de la enmienda.



**Figura 14:** Magnesio presente en solución, según fecha y tratamiento. (Profundidad 24-43 cm.).

Con una dosis muy alta de yeso, el arrastre de sodio desde la superficie es muy marcado; en cambio con una dosis normal pero realizada con mayor frecuencia, el descenso de sodio en superficie no es tan abrupto, logrando de esta forma que no sea de gran magnitud la acumulación en profundidad. El manejo de dosis y frecuencia escogido para el tratamiento **DD**, pareciera darle más tiempo al proceso de intercambio y lavado de bases, llegando así a resultados más eficientes.

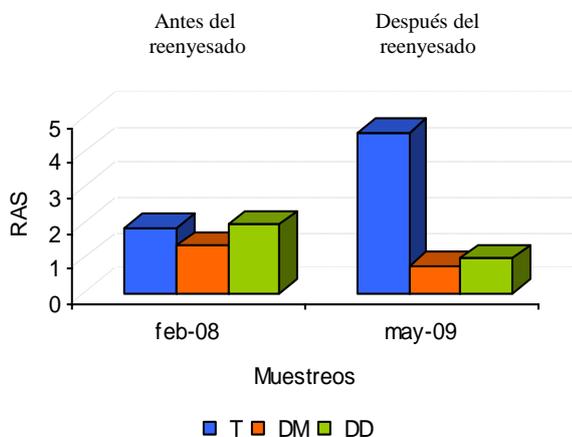
- **Razón de adsorción de  $\text{Na}^+$  (RAS)**

\* *Situación inicial antes del reenesado según tratamientos.*

Como se mencionó en un principio, el RAS indica el grado de sodicidad que presenta el suelo con relación al contenido de calcio y magnesio.

En la Figura 15, se observa que los valores de RAS en **DM** obtenidos en superficie en febrero, son inferiores a los de **T** y **DD**. Esta consecuencia es debida al importante desplazamiento y posterior lavado de  $\text{Na}^+$  en el perfil, producto de la elevada dosis que se le

aplicó a este tratamiento. Pero además, si se analizan los valores de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  (Figuras 9 y 11) en febrero, son elevados frente al  $\text{Na}^+$ , por lo que la RAS es la más baja.

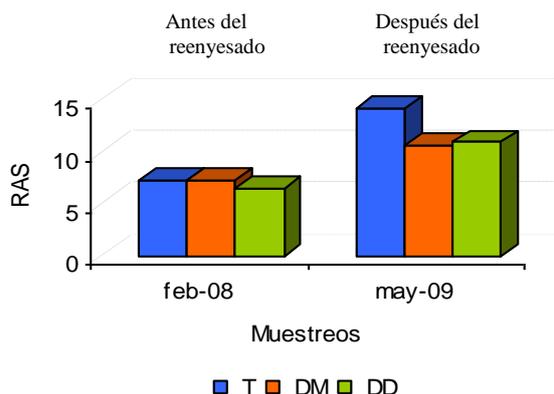


**Figura 15:** RAS obtenido en superficie (0-24 cm), según fecha de muestreo y tratamientos.

Antes del reenesado en los primeros 24 cm de profundidad, **DD** arroja el valor más elevado (Figura 15). Esto también se puede relacionar con la dosis que se le aplicó en el 2005, ya que al ser de menor magnitud que **DM**, el intercambio de  $\text{Na}^+$  no fue tan rápido y por consiguiente su lavado fue inferior y de mayor lentitud que el obtenido en **DM** (Figura 10).

En profundidad (24-43 cm, Figura 16), **DD** es el tratamiento que obtiene el menor valor de RAS en febrero. Esto se debe a que el arrastre de  $\text{Na}^+$  desde la superficie no fue tan marcado como sucedió en **DM**, además la cantidad de  $\text{Ca}^{+2}$  aportado por la enmienda llegó hasta los 43 cm después de 3 años, pero en menor proporción que en **DM** (Figura 12).

En la Figura 16, se observa que **DM** y **T** (24-43 cm) tienen similares valores de RAS en febrero, esto es debido a que **T** mantiene los valores de sodio sin afección de los procesos originados por aplicaciones. Pero **DM**, además de esos valores se les suma la cantidad de  $\text{Na}^+$  que se ha ido desplazando con el tiempo (ver Figura 13) y por otro lado, no tiene un RAS superior a **T** porque la cantidad de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  son elevadas por los aportes externos realizados (Figuras 12 y 14),



**Figura 16:** RAS obtenido en profundidad (24-43 cm), según fecha de muestreo y tratamientos.

\* *Variaciones de RAS a partir del reenyesado*

En la primera profundidad de suelo analizada, los valores mostraron diferencias significativas entre tratamientos (ver anexos). El menor RAS se da en **DM** y el mayor en **T**. Sin embargo, los cambios ocurridos en el tiempo se observan claramente en las Figuras 15 y 16.

En los primeros 24 cm, tanto **DM** como **DD** disminuyen sus valores de RAS. En **DM** el RAS obtenido es consecuencia de las disminuciones de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$  (Figuras 9, 10 y 11), dichas disminuciones son debidas al continuo lavado de  $\text{Na}^+$  en la superficie, al intercambio de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  por sodio en las sedes de cambio, y a la incorporación que mantuvo la enmienda en todo el perfil en 4 años de aplicada. En cambio la disminución en **DD** del RAS, es debido principalmente al aumento de  $\text{Ca}^{+2}$ , producto de la nueva aplicación de la enmienda (Figura 9).

En profundidad la tendencia de RAS es en alza, característica propia de estos suelos salinos sódicos, como consecuencia de la cantidad de  $\text{Na}^+$  elevada que presentan los mismos a partir de los 24 cm aproximadamente. Para la profundidad de 24-43 cm., las diferencias significativas se dieron entre fechas de muestreo (ver anexos). El menor RAS se dio en febrero, y el mayor en mayo.

Los aumentos de RAS en mayo a partir de los 24 cm, tanto en **DM** como en **DD**, se pueden interpretar de la misma forma. La acumulación de sodio intercambiado y lixiviado desde la superficie, son los procesos que principalmente originan aumentos en los valores de  $\text{Na}^+$  y por consiguiente de RAS. **DM** presenta una cantidad de  $\text{Na}^+$  levemente superior que **DD** (Figura 13), pero también presenta altas cantidades de  $\text{Ca}^{+2}$  por la elevada dosis que se

le aplicó en 2005. En **DD** la cantidad de  $\text{Ca}^{+2}$  presente en profundidad es inferior a **DM** (Figura 12), dando como resultado, un menor RAS en **DM**.

Cabe aclarar que los procesos ocurridos tanto en **DM** como en **DD** son los mismos, lo que marca la diferencia en los resultados es la magnitud en la que se dan esos procesos, como consecuencia de la cantidad en la dosis del yeso aplicado. Lo importante es que en general, los tratamientos que han recibido un aporte de enmienda, dejando de lado la fecha de realización y su dosis, marcan una considerable baja en RAS. Esto se corrobora al observar que los valores del **T** fueron superiores en las dos profundidades muestreadas al finalizar el periodo de estudio. Bonadeo et al (2009), en aplicaciones de enmiendas a un Natrustalf típico, muestran resultados contrarios a los encontrados en este trabajo, ya que obtienen incrementos de RAS en los tratamientos con respecto a T. Atribuyen estos resultados a la acumulación de  $\text{Na}^+$  entre los 24 cm y 43 cm de profundidad, debido a la baja permeabilidad del horizonte subyacente y consecuentemente al no lixiviado de este elemento. Estas diferencias entre los dos trabajos se atribuyen al mayor contenido de arcilla y de sodio del Natrustalf típico respecto del Haplustol evaluado en este trabajo.

*\* Transformación y comparación de los valores de RAS a PSI*

Cuando la composición química de la solución del suelo esta en equilibrio con la fase de intercambio catiónico, existe una relación muy cercana entre el PSI y la RAS de la solución del suelo (Laosheng y Ruiz Veral, 2006). Sin embargo, Russell, E. y Wild, A. (1992) mencionan que se necesita tiempo para que se establezca el equilibrio entre la solución y el interior de los terrones y agregados del suelo, por lo que el PSI medio real del suelo es probable que se retrase con relación a los cambios en la RAS de la solución del suelo.

A través de los valores obtenidos en RAS se calculó el PSI presente en el suelo. En la Tabla 6, se muestran solamente los valores de PSI de la segunda profundidad estudiada (24-43 cm), ya que los mismos son más elevados que en superficie, afectando en mayor medida el normal desarrollo del cultivo. Además, a lo largo de todo el trabajo se mencionó, que la problemática de estos suelos a partir de los 24 cm aproximadamente adquiere una importancia relevante.

**Tabla 6:** Valores de RAS y PSI luego de 13 meses del reenesado, de 24-43 cm de profundidad según tratamiento aplicado.

Profundidad	24-43 cm		
	T	DM	DD
May-09, RAS después del reenesado	14,19 <sub>a</sub>	10,60 <sub>a</sub>	10,98 <sub>a</sub>
May-09, PSI después del reenesado	16,40 <sub>a</sub>	12,17 <sub>a</sub>	12,19 <sub>a</sub>

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), entre filas.*

En la Tabla 6, si bien no se registraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos analizados, se observa que existe una tendencia a ser más elevado el RAS y PSI en **T** y en mayo (ver anexos). En esta última fecha el valor de PSI supera al 15%, incorporando de esta forma al horizonte analizado en la categoría de sódico.

En mayo, el PSI se asemeja en **DM** y **DD**, éste último presenta un valor superior en el PSI pero la diferencia es insignificante. Ello indica que el lixiviado de sodio posiblemente ha continuado y de esta forma los tratamientos obtienen un PSI inferior al **T**. Es importante destacar que se espera, que con el tiempo y la ocurrencia de precipitaciones, los valores de PSI de los tratamientos sigan descendiendo en relación al **T**.

## CONCLUSIONES FINALES

- El agregado de una nueva dosis de yeso provocó aumentos de CE (300 % aproximadamente), a los 5 meses del reenesado y en los primeros 40 cm de profundidad.
- A los 4 años de aplicados 6000 kg ha de yeso (DM) y 4000 kg ha particionados en dosis iguales y en dos fechas de aplicación diferentes (DD) se registró:
  - ☞ Menor CE de DD (0-24cm: 10% y de 24-43cm: 60%) y DM (0-24cm: 60% y de 24-43cm: 45%) con respecto al testigo, evidenciando el efecto mejorador de la enmienda en los primeros 43 cm de profundidad.
  - ☞ Los valores de pH de DD y DM fueron menores al testigo, similares entre sí y cercanos a la neutralidad. Esto ocurre en los primeros 43 cm del suelo.
  - ☞ Entre 0-24 cm el reenesado provocó aumentos leves en la concentración de sodio de la solución del suelo (6 %), siendo más notorios los incrementos de calcio (80 %) y magnesio (75 %).
  - ☞ Entre 24-43 cm el contenido de sodio de DD y DM fue menor al del testigo (27 % y 22 % respectivamente), y semejantes entre sí.
  - ☞ El RAS fue menor en DD (0-24cm: 79 % y de 24-43cm: 23 %) y DM (0-24cm: 82 % y de 24-43cm: 26 %) respecto del testigo entre 0-43 cm.
  - ☞ Los valores de PSI de DD y DM fueron similares y menores al testigo (promedio aproximado 26 %).

## CONSIDERACIONES FINALES

- El manejo de dosis y frecuencia escogido para el tratamiento DD, pareciera darle más tiempo al proceso de intercambio, lavado de bases, mejoras en la permeabilidad y consecuentemente favorecería el crecimiento del cultivo y exploración de raíces en el perfil.
- Por lo tanto, sería necesario que se continúe con el análisis de dosis y frecuencia de aplicación, para lograr resultados más eficientes. Además, cada lote presenta diferente grado de afección y características particulares que definen los niveles de yeso a aplicar.

## REFERENCIAS

- BONADEO, E.; MORENO, I.; ODORIZZI, A.; HAMPP, E.; SORONDO, A. y M. BONGIOVANNI. 2002. Relación entre propiedades físico-químicas del suelo y raíces de alfalfa (*medicago sativa* L.). XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.
- BONADEO, E.; HAMPP, E.; BONGIOVANNI, M; MORENO, I. Y A. ODORIZZI. 2006. Relaciones entre propiedades físicas y químicas del suelo y raíces de alfalfa (*Medicago sativa* L.) afectada por “manchoneo”. Revista Ciencia del Suelo. Nº 24. Buenos Aires. pp. 101-107.
- BONADEO, E; MILAN, C; MORENO, I; BASANTA, M y J. VIOLA. 2009. Efecto del agregado de enmiendas calcicas y magnesicas a un Natrustalf Típico de la Republica Argentina en condiciones de secano. XVIII congreso latinoamericano de la ciencia del suelo. Costa Rica.
- BRESSLER, E., G.L. MC NEAL and D D.L. CARTER. 1982. Saline and sodic soils. Modelling, Principles, Dynamics. Advances Series in Agriculture Sciences 10 Springer Verlag. 236 pags.
- CARRANZA, F. 2009. Correccion de suelos hidrohalmorficos. Jornada sobre salinidad en suelo. INTA La Carlota, Cordoba.
- COLACELLI, N. A. 1997. Suelos: corrección de suelos alcalinos (enyesado). En: [http://www.produccion.com.ar/1997/97jul\\_14.htm](http://www.produccion.com.ar/1997/97jul_14.htm) Consultado: 15-08-09.
- COSTA, J. y GODZ, P. 1999. Aplicación de yeso a un Natracuol del sudeste de La Pampa deprimida. En: [http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_17n2/Costa\\_21-27.pdf](http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_17n2/Costa_21-27.pdf). Consultado: 24-08-09.
- CULOT, (1986) Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la región pampeana. En: Investigación, tecnología y producción de alfalfa. Colección científica del INTA. Bs.As: 83.
- FRENKEL, H., Z. GERSTLZ., N. AIPEROVITCH. 1989. Exchange induced dissolution of gypsum and the reclamation of sodic soil. J. Soil Sci. 40, 599-611.
- HAMPP, E.; BONADEO, E.; BONGIOVANNI, M. e I. MORENO 2004 “Aspectos genéticos de suelos con manchoneo” XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.
- HAMPP, E. 2006. Materiales coloidales quimica de los suelos.cap.11.E. Brichi y A. Degioanni comp. en sistema suelo su origen y propiedades fundamentales. Ed. UNRC.

- IBAÑES, J. J. 2008. Tipo de suelos Salinos. En: <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2009/06/02/81822.aspx> Consultado: 10-06-09.
- INFOSTAT (2009). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- INTA. 1987. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-9 Villa María. Plan Mapa de Suelos Córdoba – Argentina.
- INTA, 1993. Atlas de Suelos de la Republica Argentina. 2 Tomos. 677 páginas.
- INTA, 2009. Informe meteorológico mensual. En: <http://riap.inta.gov.ar/Agrometeorologia/consultasprecipitaciones/InformeMensual.aspx> Consultado: 15-06-09.
- JARSUN, B. 1996. Condiciones del Suelo para la Alfalfa EEA INTA Manfredi
- KEREN, R.; SHAINBER, I.; FRENKEL, H.; KALO, Y. (1983). The effect of exchangeable sodium and gypsum on surface runoff from loess soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:1001-1004.
- KEREN, R. (1996). Reclamation of Sodic-affected soils. In soil erosion Conservation and rehabilitation. 353-374. Publisher information: Merced Decker Inc.; NY.
- KLUTE, A. (ed.) 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agron. Monograph N° 9 ASA, SSSA. Madison, Wisconsin USA.
- LAOSHENG, W y RUIZ VERAL, V. 2006. Influencia de la salinidad sódica en la permeabilidad del agua en el suelo. En: [http://www.oeidrus-zacatecas.gob.mx/oeidrus\\_zac/zacatecas/revista/VA6/11.html](http://www.oeidrus-zacatecas.gob.mx/oeidrus_zac/zacatecas/revista/VA6/11.html) Consultado: 08/06/2009.
- LOVEDAY, J. (1984). Relative significance of electrolyte and cation exchange effects when gypsum is applied to a clay soil. Aust. J. Soil Res. 14; 361-372.
- MORENO, I; BONADEO, E; HAMPP, E.; URBANI, D. y M. BONGIVANNI. 2006. Agregado de yeso y dinámica de sales y pH en suelos con horizontes salinos subsuperficiales. Actas XX congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta.
- NIVORSKI, 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

- PEARSON KRISTA E. and JAMES W. BAUDER.(2003). The Basics of Salinity and Sodicity Effects on Soil Physical Properties. Department of Land Resources and Environmental Sciences. Montana State University – Bozeman. Edición Digital: <http://waterquality.montana.edu> Consultado el 14/11/2007.
- PORTA CASANELLAS, J., M. LOPEZ-ACEVEDO REGUERINM, y C. ROQUERO DE LABURU. 1994. Edafología Para la Agricultura y el Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa, Madrid.
- PORTA CASANELLAS, J., M. LOPEZ-ACEVEDO REGUERINM, y C. ROQUERO DE LABURU. 1999. Edafología Para la Agricultura y el Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa, Madrid.
- QUINTEROS, C; N. BOSCHETTI; A. DURAND MORAT & S. FETTOLON. 2003. Recuperación de suelos dispersivos por medio de enmiendas. <http://www.fertilizando.com/articulos/RecuperaciondeSuelosDispersivosporMediodeEnmiendas.pdf>. Consultado: 08/12/08.
- RICHARDS, L.A. 1965. Physical conditions of water in soil En: Black, C.A. (Ed.) Methods of soil análisis Part I. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- RICHARDS, L.A. (Ed.) 1973. Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa.
- RUSSELL, J. y RUSSELL, W. 3<sup>ra</sup> edición 1964. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Ed. Aguilar.
- RUSSELL, E. y WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi Prensa Libros S.A.
- YAGODIN, B.; SMIRNOV, P. y A. P. PETERBURGSKI. 1986. Agroquímica. Editorial Mir. URSS. Pp 198-255.

## ANEXOS

✚ **Tabla 1<sub>A</sub>:** Variación de la CE en el tiempo y con la profundidad para las dos profundidades muestreadas.

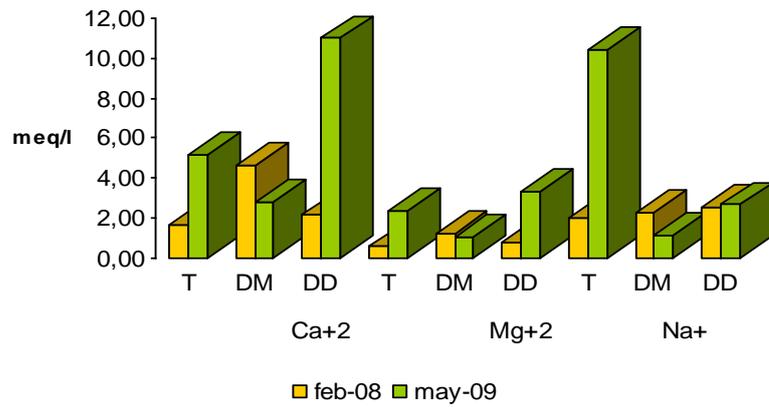
Profundidad	0-24 cm			24-43 cm		
Fecha	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	0,283 a	0,302 a	0,180 a	0,660 ab	0,985 ab	0,487 a
sep-08	0,448 a	0,430 a	0,540 a	1,343 bc	2,533 d	1,913 cd
ene-09	0,224 a	0,275 a	0,394 a	0,927 ab	0,858 ab	0,397 a
may-09	0,476 a	0,199 a	0,428 a	1,858 cd	1,024 ab	0,732 ab

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), entre filas y columnas de cada profundidad.*

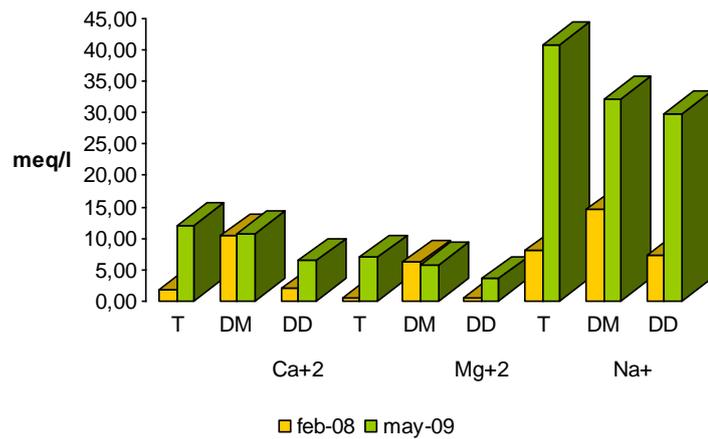
✚ **Tabla 2<sub>A</sub>:** Valores obtenidos de pH en las dos profundidades muestreadas.

Profundidad	0-24 cm			24-43 cm		
Fecha	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	6,48 ab	6,20 a	7,04 bcd	8,51 de	6,72 a	8,12 cd
sep-08	8,13 e	7,27 d	7,88 e	9,38 f	8,93 e	8,65 de
ene-09	7,01 bcd	6,79 bcd	6,70 abc	7,24 ab	7,07 ab	7,15 ab
may-09	7,15 cd	7,02 bcd	7,04 bcd	7,59 bc	7,25 ab	7,45 b

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), entre filas y columnas de cada profundidad.*



**Figura 1<sub>A</sub>:** Variación de Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Na<sup>+</sup> de 0-24 cm de profundidad, según tratamiento y fecha de muestreo.



**Figura 2<sub>A</sub>:** Variación de bases 24-43 cm de profundidad, según tratamiento y fecha de muestreo.

✚ **Tabla 3<sub>A</sub>:** Variación de la cantidad de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $Na^{+}$  según tratamiento y fecha (Profundidad 0-24 cm.).

Fecha	$Ca^{+2}$			$Mg^{+2}$			$Na^{+}$		
	T	DM	DD	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	1,68 a	4,65 a	2,16 a	0,57 a	1,23 a	0,8 a	1,99 a	2,29 a	2,52 a
may-09	5,15 a	2,84 a	10,98 a	2,39 a	1,08 a	3,33 a	10,42 a	1,13 a	2,68 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p <= 0,05$ ), entre filas y columnas de cada elemento.

✚ **Tabla 4<sub>A</sub>:** Variación de la cantidad de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $Na^{+}$  según tratamiento y fecha (Profundidad 24-43 cm.).

Fecha	$Ca^{+2}$			$Mg^{+2}$			$Na^{+}$		
	T	DM	DD	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	1,86 a	10,37 a	1,96 a	0,52 a	6,21 a	0,63 a	8,04 a	14,5 a	7,39 a
may-09	12,12 a	10,81 a	6,45 a	6,95 a	5,81 a	3,57 a	40,84 a	32,08 a	29,88 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p <= 0,05$ ), entre filas y columnas de cada elemento.

✚ **Tabla 5<sub>A</sub>:** Variación de calcio a las dos profundidades muestreadas, según fecha y tratamiento aplicado.

Profundidad	0-24 cm			24-43 cm		
	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	1,68 a	4,65 a	2,16 a	1,86 a	10,37 a	1,96 a
may-09	5,15 a	2,84 a	10,98 a	12,12 a	10,81 a	6,45 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p <= 0,05$ ), entre filas y columnas de cada profundidad.

✚ **Tabla 6<sub>A</sub>:** Variación de sodio a las dos profundidades muestreadas, según fecha y tratamiento aplicado.

Profundidad	0-24 cm			24-43 cm		
Fecha	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	1,99 a	2,29 a	2,52 a	8,04 a	14,5 a	7,39 a
may-09	10,42 a	1,13 a	2,68 a	40,84 a	32,08 a	29,88 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), entre filas y columnas de cada profundidad.

✚ **Tabla 7<sub>A</sub>:** Variación de magnesio a las dos profundidades muestreadas, según fecha y tratamiento aplicado.

Profundidad	0-24 cm			24-43 cm		
Fecha	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	0,57 a	1,23 a	0,80 a	0,52 a	6,21 a	0,63 a
may-09	2,39 a	1,08 a	3,33 a	6,95 a	5,81 a	3,57 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), entre filas y columnas de cada profundidad.

✚ **Tabla 8<sub>A</sub>:** Variación de RAS a las dos profundidades muestreadas, según fecha y tratamiento aplicado.

Profundidad	0-24cm			24-43 cm		
Fecha	T	DM	DD	T	DM	DD
feb-08	1,88 a	1,37 a	1,97 a	7,29 a	7,25 a	6,44 a
may-09	4,58 b	0,81 a	1,00 a	14,19 a	10,60 a	10,98 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), entre filas y columnas de cada profundidad.

## Análisis de la varianza y diferencias de medias, profundidad 0-24 cm.

- *pH 0-24 cm*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH 0-24 cm	36	0,84	0,69	4,70

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		10,39	17	0,61	5,55	0,0004
bloque		0,46	2	0,23	2,08	0,1545
tratamiento/bloque*tratami...		1,03	2	0,52	4,70	0,0229
bloque*tratamiento		0,45	4	0,11	1,03	0,4191
fecha		7,04	3	2,35	21,30	<0,0001
fecha*tratamiento		1,41	6	0,24	2,14	0,0990
Error		1,98	18	0,11		
Total		12,38	35			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,28463**

Error: 0,1101 gl: 18

Bloque	Media	n	
2	6,93	12	A
1	7,06	12	A
3	7,20	12	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,28463**

Error: 0,1101 gl: 18

tratamiento	Medias	n	
DM	6,82	12	A
DD	7,17	12	B
T	7,19	12	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,49299**

Error: 0,1101 gl: 18

bloque	tratamiento	Medias	n		
2	DM	6,69	4	A	
1	DM	6,74	4	A	
2	T	7,02	4	A	B
1	DD	7,03	4	A	B
3	DM	7,04	4	A	B
2	DD	7,07	4	A	B
3	T	7,17	4	A	B
1	T	7,40	4		B
3	DD	7,41	4		B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,32866**

Error: 0,1101 gl: 18

Fecha	Media	n		
01/02/2008	6,57	9	A	
01/01/2009	6,83	9	A	B
01/05/2009	7,07	9		B
01/09/2008	7,76	9		C

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,56925**

Error: 0,1101 gl: 18

Fecha	tratamiento	Medias	n				
01/02/2008	DM	6,20	3	A			
01/02/2008	T	6,48	3	A	B		
01/01/2009	DD	6,70	3	A	B	C	
01/01/2009	DM	6,79	3		B	C	D
01/01/2009	T	7,01	3		B	C	D
01/05/2009	DM	7,02	3		B	C	D
01/05/2009	DD	7,04	3		B	C	D
01/02/2008	DD	7,04	3		B	C	D
01/05/2009	T	7,15	3			C	D
01/09/2008	DM	7,27	3				D
01/09/2008	DD	7,88	3				E
01/09/2008	T	8,13	3				E

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

• **CE 0-24 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cdad 0-24 cm	36	0,44	0,19	71,85

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,20	11	0,11	1,75	0,1227
Bloque	0,50	2	0,25	4,01	0,0314
Tratamiento/bloque*tratami...	0,04	2	0,02	0,35	0,7067
Bloque*tratamiento	0,41	4	0,10	1,65	0,1956
Fecha	0,24	3	0,08	1,30	0,2975
Fecha*tratamiento	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	1,50	24	0,06		
Total	2,70	35			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,23241**

Error: 0,0734 gl: 18

Bloque	Media	n		
3	0,22	12	A	
1	0,31	12	A	B
2	0,51	12		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,23241**

Error: 0,0734 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	
DM	0,30	12	A
T	0,36	12	A
DD	0,39	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,40254**

Error: 0,0734 gl: 18

Bloque	tratamiento	Medias	n			
3	DD	0,18	4	A		
1	T	0,19	4	A		
3	T	0,23	4	A	B	
3	DM	0,26	4	A	B	C
2	DM	0,27	4	A	B	C
1	DM	0,38	4	A	B	C
1	DD	0,38	4	A	B	C
2	DD	0,60	4		B	C
2	T	0,65	4			C

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,26836**

Error: 0,0734 gl: 18

Fecha	Media	n	
01/02/2008	0,25	9	A
01/01/2009	0,30	9	A
01/05/2009	0,37	9	A
01/09/2008	0,47	9	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,46482**

Error: 0,0734 gl: 18

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	DD	0,18	3	A
01/05/2009	DM	0,20	3	A
01/01/2009	T	0,22	3	A
01/01/2009	DM	0,27	3	A
01/02/2008	T	0,28	3	A
01/02/2008	DM	0,30	3	A
01/01/2009	DD	0,39	3	A
01/05/2009	DD	0,43	3	A
01/09/2008	DM	0,43	3	A
01/09/2008	T	0,45	3	A
01/05/2009	T	0,48	3	A
01/09/2008	DD	0,54	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

- **Ca<sup>+2</sup> 0-24 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Calcio 0-24 cm	18	0,66	0,04	130,03

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	416,31	11	37,85	1,07	0,4924
Bloque	165,99	2	82,99	2,35	0,1768
Tratamiento/bloque*tratami...	36,04	2	18,02	0,51	0,6248
Bloque*tratamiento	74,64	4	18,66	0,53	0,7212
Fecha	54,95	1	54,95	1,55	0,2592
Fecha*tratamiento	84,70	2	42,35	1,20	0,3653
Error	212,34	6	35,39		
Total	628,65	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,40421**

Error: 35,3898 gl: 6

Bloque	Media	n	
3	1,83	6	A
1	3,09	6	A
2	8,81	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,40421**

Error: 35,3898 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
T	3,41	6	A
DM	3,75	6	A
DD	6,57	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,55652**

Error: 35,3898 gl: 6

Bloque	tratamiento	Medias	n	
3	T	1,21	2	A
3	DD	1,67	2	A
1	T	2,37	2	A
3	DM	2,61	2	A
1	DD	3,33	2	A
1	DM	3,59	2	A
2	DM	5,05	2	A
2	T	6,67	2	A
2	DD	14,71	2	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,86201**

Error: 35,3898 gl: 6

Fecha	Media	n	
01/02/2008	2,83	9	A
01/05/2009	6,32	9	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,88535**

Error: 35,3898 gl: 6

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	T	1,68	3	A
01/02/2008	DD	2,16	3	A
01/05/2009	DM	2,84	3	A
01/02/2008	DM	4,65	3	A
01/05/2009	T	5,15	3	A
01/05/2009	DD	10,98	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

•  $Mg^{+2}$  0-24 cm

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Magn 0-24 cm	18	0,57	0,09	117,26

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	35,79	9	3,98	1,18	0,4130
Bloque	17,06	2	8,53	2,53	0,1406
Tratamiento/bloque*tratami...	2,54	2	1,27	0,38	0,6977
Bloque*tratamiento	7,37	4	1,84	0,55	0,7071
Fecha	8,82	1	8,82	2,62	0,1444
Fecha*tratamiento	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	26,96	8	3,37		
Total	62,75	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,65271**

Error: 3,5259 gl: 6

Bloque	Media	n	
3	0,67	6	A
1	1,11	6	A
2	2,92	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,65271**

Error: 3,5259 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
DM	1,15	6	A
T	1,48	6	A
DD	2,06	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,59463**

Error: 3,5259 gl: 6

Bloque	tratamiento	Medias	n	
3	T	0,43	2	A
3	DD	0,59	2	A
1	T	0,93	2	A
3	DM	0,99	2	A
1	DM	1,17	2	A
1	DD	1,24	2	A
2	DM	1,30	2	A
2	T	3,10	2	A
2	DD	4,36	2	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,16593**

Error: 3,5259 gl: 6

Fecha	Media	n	
01/02/2008	0,87	9	A
01/05/2009	2,27	9	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,75150**

Error: 3,5259 gl: 6

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	T	0,57	3	A
01/02/2008	DD	0,80	3	A
01/05/2009	DM	1,08	3	A
01/02/2008	DM	1,23	3	A
01/05/2009	T	2,39	3	A
01/05/2009	DD	3,33	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

• **Na<sup>+2</sup> 0-24 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sodio 0-24 cm18		0,73	0,24	138,45

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	383,76	11	34,89	1,48	0,3274
Bloque	101,25	2	50,62	2,15	0,1980
Tratamiento/bloque*tratami...	67,99	2	33,99	1,44	0,3080
Bloque*tratamiento	105,80	4	26,45	1,12	0,4276
Fecha	27,68	1	27,68	1,17	0,3202
Fecha*tratamiento	81,05	2	40,53	1,72	0,2569
Error	141,43	6	23,57		
Total	525,19	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,85896**

Error: 23,5722 gl: 6

Bloque	Media	n	
3	1,13	6	A
1	2,65	6	A
2	6,74	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,85896**

Error: 23,5722 gl: 6

tratamiento	Medias	n	
DM	1,71	6	A
DD	2,60	6	A
T	6,21	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,88006**

Error: 23,5722 gl: 6

Bloque	tratamiento	Medias	n		
3	DD	1,11	2	A	
3	DM	1,11	2	A	
2	DM	1,12	2	A	
3	T	1,17	2	A	
1	DD	1,45	2	A	
1	DM	2,91	2	A	B
1	T	3,59	2	A	B
2	DD	5,25	2	A	B
2	T	13,86	2		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,60031**

Error: 23,5722 gl: 6

Fecha	Media	n	
01/02/2008	2,27	9	A
01/05/2009	4,75	9	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=9,70003**

Error: 23,5722 gl: 6

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/05/2009	DM	1,13	3	A
01/02/2008	T	1,99	3	A
01/02/2008	DM	2,29	3	A
01/02/2008	DD	2,52	3	A
01/05/2009	DD	2,68	3	A
01/05/2009	T	10,42	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

• **RAS 0-24 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RAS 0-24 cm	18	0,86	0,59	62,13

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	51,95	11	4,72	3,27	0,0791
Bloque	10,32	2	5,16	3,57	0,0952
Tratamiento/bloque*tratami...	15,59	2	7,79	5,39	0,0457
Bloque*tratamiento	13,19	4	3,30	2,28	0,1754
Fecha	0,68	1	0,68	0,47	0,5171
Fecha*tratamiento	12,16	2	6,08	4,21	0,0721
Error	8,67	6	1,45		
Total	60,62	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,69837**

Error: 1,4453 gl: 6

Bloque	Media	n	
3	1,05	6	A
1	1,86	6	A B
2	2,90	6	B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,69837**

Error: 1,4453 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
DM	1,09	6	A
DD	1,48	6	A
T	3,23	6	B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,94167**

Error: 1,4453 gl: 6

Bloque	tratamiento	Medias	n		
2	DM	0,66	2	A	
3	DM	0,84	2	A	
3	DD	1,02	2	A	
1	DD	1,03	2	A	
3	T	1,29	2	A	
1	DM	1,78	2	A	
2	DD	2,40	2	A	
1	T	2,78	2	A	B
2	T	5,64	2		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,38672**

Error: 1,4453 gl: 6

Fecha	Media	n	
01/02/2008	1,74	9	A
01/05/2009	2,13	9	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,40186**

Error: 1,4453 gl: 6

Fecha	tratamiento	Medias	n		
01/05/2009	DM	0,81	3	A	
01/05/2009	DD	1,00	3	A	
01/02/2008	DM	1,37	3	A	
01/02/2008	T	1,88	3	A	
01/02/2008	DD	1,97	3	A	
01/05/2009	T	4,58	3		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

## Análisis de la varianza y diferencias de medias, profundidad 24-43 cm.

- *pH 24-43 cm*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PH 24-43 cm	36	0,92	0,84	4,60

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25,92	17	1,52	11,72	<0,0001
Bloque	1,51	2	0,76	5,81	0,0113
Tratamiento/bloque*tratami...	2,82	2	1,41	10,85	0,0008
Bloque*tratamiento	0,45	4	0,11	0,87	0,5029
Fecha	17,61	3	5,87	45,15	<0,0001
Fecha*tratamiento	3,52	6	0,59	4,51	0,0059
Error	2,34	18	0,13		
Total	28,26	35			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,30929

Error: 0,1300 gl: 18

Bloque	Media	n	
1	7,65	12	A
2	7,74	12	A
3	8,12	12	B

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

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,30929

Error: 0,1300 gl: 18

tratamiento	Medias	n	
DM	7,49	12	A
DD	7,84	12	B
T	8,18	12	C

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

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,53571

Error: 0,1300 gl: 18

bloque	tratamiento	Medias	n			
2	DM	7,21	4	A		
1	DM	7,39	4	A	B	
1	DD	7,57	4	A	B	C
3	DM	7,89	4		B	C
2	DD	7,94	4			C
1	T	7,99	4			C
3	DD	8,02	4			C
2	T	8,08	4			C
3	T	8,47	4			D

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

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,35714

Error: 0,1300 gl: 18

fecha	Medias	n		
01/01/2009	7,15	9	A	
01/05/2009	7,43	9	A	B
01/02/2008	7,78	9		B
01/09/2008	8,99	9		C

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,61859**

Error: 0,1300 gl: 18

Fecha	tratamiento	Medias	n					
01/02/2008	DM	6,72	3	A				
01/01/2009	DM	7,07	3	A	B			
01/01/2009	DD	7,15	3	A	B			
01/01/2009	T	7,24	3	A	B			
01/05/2009	DM	7,25	3	A	B			
01/05/2009	DD	7,45	3		B			
01/05/2009	T	7,59	3		B	C		
01/02/2008	DD	8,12	3			C	D	
01/02/2008	T	8,51	3				D	E
01/09/2008	DD	8,65	3				D	E
01/09/2008	DM	8,93	3					E
01/09/2008	T	9,38	3					E

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

• **CE 24-43 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cdad 24-43 cm	36	0,85	0,70	38,61

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19,14	17	1,13	5,78	0,0003
Bloque	4,54	2	2,27	11,66	0,0006
Tratamiento/bloque*tratami...	1,37	2	0,68	3,51	0,0516
Bloque*tratamiento	0,70	4	0,17	0,90	0,4872
Fecha	8,84	3	2,95	15,13	<0,0001
Fecha*tratamiento	3,69	6	0,62	3,16	0,0270
Error	3,51	18	0,19		
Total	22,65	35			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,37853**

Error: 0,1948 gl: 18

Bloque	Media	n	
3	0,68	12	A
1	1,21	12	B
2	1,54	12	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,37853**

Error: 0,1948 gl: 18

tratamiento	Medias	n	
DD	0,88	12	A
T	1,20	12	A
DM	1,35	12	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,65563**

Error: 0,1948 gl: 18

bloque	tratamiento	Medias	n				
3	DD	0,49	4	A			
3	T	0,67	4	A	B		
3	DM	0,88	4	A	B		
1	DD	0,94	4	A	B	C	
1	T	1,08	4	A	B	C	
2	DD	1,21	4		B	C	D
2	DM	1,57	4			C	D
1	DM	1,59	4			C	D
2	T	1,85	4				D

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,43709**

Error: 0,1948 gl: 18

fecha	Medias	n				
01/02/2008	0,71	9	A			
01/01/2009	0,73	9	A			
01/05/2009	1,20	9		B		
01/09/2008	1,93	9			C	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,75706**

Error: 0,1948 gl: 18

Fecha	tratamiento	Medias	n				
01/01/2009	DD	0,40	3	A			
01/02/2008	DD	0,49	3	A			
01/02/2008	T	0,66	3	A	B		
01/05/2009	DD	0,73	3	A	B		
01/01/2009	DM	0,86	3	A	B		
01/01/2009	T	0,93	3	A	B		
01/02/2008	DM	0,99	3	A	B		
01/05/2009	DM	1,02	3	A	B		
01/09/2008	T	1,34	3		B	C	
01/05/2009	T	1,86	3			C	D
01/09/2008	DD	1,91	3			C	D
01/09/2008	DM	2,53	3				D

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

• **Ca<sup>+2</sup> 24-43 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Calcio 24-43 cm	18	0,77	0,35	79,26

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	663,10	11	60,28	1,82	0,2390
Bloque	314,10	2	157,05	4,74	0,0583
Tratamiento/bloque*tratami...	122,96	2	61,48	1,85	0,2360
Bloque*tratamiento	37,57	4	9,39	0,28	0,8787
Fecha	115,37	1	115,37	3,48	0,1114
Fecha*tratamiento	73,10	2	36,55	1,10	0,3910
Error	198,88	6	33,15		
Total	861,98	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,13346**

Error: 33,1463 gl: 6

Bloque	Media	n		
3	2,04	6	A	
1	7,49	6	A	B
2	12,27	6		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,13346**

Error: 33,1463 gl: 6

Tratamiento	Media	n	
DD	4,21	6	A
T	6,99	6	A
DM	10,59	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,08757**

Error: 33,1463 gl: 6

Bloque	tratamiento	Medias	n		
3	DD	1,46	2	A	
3	T	1,48	2	A	
1	DD	2,98	2	A	
3	DM	3,19	2	A	
2	DD	8,18	2	A	B
1	T	8,21	2	A	B
1	DM	11,28	2	A	B
2	T	11,30	2	A	B
2	DM	17,32	2		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,64094**

Error: 33,1463 gl: 6

Fecha	Media	n	
01/02/2008	4,73	9	A
01/05/2009	9,80	9	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,50245**

Error: 33,1463 gl: 6

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	T	1,86	3	A
01/02/2008	DD	1,96	3	A
01/05/2009	DD	6,45	3	A
01/02/2008	DM	10,37	3	A
01/05/2009	DM	10,81	3	A
01/05/2009	T	12,12	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

•  $Mg^{+2}$  24-43 cm

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Magn 24-43 cm	18	0,76	0,32	90,27

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	241,50	11	21,95	1,73	0,2597
Bloque	109,57	2	54,78	4,31	0,0692
Tratamiento/bloque*tratami...	46,31	2	23,15	1,82	0,2410
Bloque*tratamiento	10,46	4	2,61	0,21	0,9262
Fecha	40,14	1	40,14	3,16	0,1259
Fecha*tratamiento	35,03	2	17,51	1,38	0,3219
Error	76,28	6	12,71		
Total	317,78	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,71851**

Error: 23,2313 gl: 8

bloque	Medias	n	
1	-0,07	1	A
2	0,03	1	A
2	0,19	1	A
3	0,41	1	A
1	0,97	1	A
3	1,94	1	A
1	2,87	1	A
2	2,97	1	A
3	4,62	1	A
3	4,87	1	A
3	5,02	1	A
1	6,06	1	A
1	6,47	1	A
2	6,62	1	A
2	6,75	1	A
3	6,84	1	A
2	7,15	1	A
1	7,40	1	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,41706**

Error: 23,2313 gl: 8

tratamiento	Medias	n	
DD	2,10	6	A
T	3,74	6	A
DM	6,01	6	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,11467**

Error: 23,2313 gl: 8

Bloque	tratamiento	Medias	n	
1	DD	1,40	2	A
2	DD	1,50	2	A
3	DD	3,40	2	A
2	T	3,40	2	A
3	T	3,63	2	A
1	T	4,19	2	A
3	DM	4,82	2	A
1	DM	6,27	2	A
2	DM	6,95	2	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,23950**

Error: 23,2313 gl: 8

Fecha	Media	n	
01/02/2008	2,46	9	A
01/05/2009	5,44	9	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=9,07509**

Error: 23,2313 gl: 8

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	T	0,52	3	A
01/02/2008	DD	0,63	3	A
01/05/2009	DD	3,57	3	A
01/05/2009	DM	5,81	3	A
01/02/2008	DM	6,21	3	A
01/05/2009	T	6,95	3	A

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

• **Na<sup>2+</sup> 24-43 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sodio 24-43 cm	18	1,00	0,31	81,45

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6095,48	11	554,13	1,71	0,2645
Bloque	1686,11	2	843,06	2,60	0,1540
Tratamiento/bloque*tratami...	113,52	2	56,76	0,17	0,8437
Bloque*tratamiento	1458,79	4	364,70	1,12	0,4270
Fecha	2655,99	1	2655,99	8,18	0,0288
Fecha*tratamiento	181,06	2	90,53	0,28	0,7659
Error	1947,71	6	324,62		
Total	8043,19	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=25,45332**

Error: 324,6188 gl: 6

Bloque	Media	n	
3	8,59	6	A
1	27,11	6	A
2	30,67	6	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=25,45332**

Error: 324,6188 gl: 6

tratamiento	Medias	n	
DD	18,63	6	A
DM	23,29	6	A
T	24,44	6	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=44,08645**

Error: 324,6188 gl: 6

bloque	tratamiento	Medias	n	
3	DD	5,08	2	A
3	T	9,80	2	A
1	DD	9,93	2	A
3	DM	10,89	2	A
2	DM	18,05	2	A
1	T	30,46	2	A
2	T	33,07	2	A
2	DD	40,89	2	A
1	DM	40,94	2	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=20,78255**

Error: 324,6188 gl: 6

Fecha	Media	n	
01/02/2008	9,97	9	A
01/05/2009	34,27	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=35,99643**

Error: 324,6188 gl: 6

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	DD	7,39	3	A
01/02/2008	T	8,04	3	A
01/02/2008	DM	14,50	3	A
01/05/2009	DD	29,88	3	A
01/05/2009	DM	32,08	3	A
01/05/2009	T	40,84	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

- **RAS 24-43 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RAS 24-43 cm	18	0,76	0,32	44,55

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	337,52	11	30,68	1,73	0,2593
Bloque	50,29	2	25,15	1,42	0,3134
Tratamiento/bloque*tratami...	14,90	2	7,45	0,42	0,6751
Bloque*tratamiento	153,16	4	38,29	2,16	0,1911
Fecha	109,42	1	109,42	6,16	0,0476
Fecha*tratamiento	9,75	2	4,88	0,27	0,7688
Error	106,50	6	17,75		
Total	444,02	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,95187**

Error: 17,7497 gl: 6

Bloque	Media	n	
3	7,13	6	A
2	10,29	6	A
1	10,96	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,95187**

Error: 17,7497 gl: 6

tratamiento	Medias	n	
DD	8,71	6	A
DM	8,93	6	A
T	10,74	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,30895**

Error: 17,7497 gl: 6

Bloque	tratamiento	Medias	n		
3	DD	4,44	2	A	
2	DM	5,33	2	A	B
1	DD	6,76	2	A	B
3	DM	8,09	2	A	B
3	T	8,85	2	A	B
2	T	10,63	2	A	B
1	T	12,74	2	A	B
1	DM	13,37	2	A	B
2	DD	14,93	2		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,85968**

Error: 17,7497 gl: 6

Fecha	Media	n	
01/02/2008	6,99	9	A
01/05/2009	11,92	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,41722**

Error: 17,7497 gl: 6

Fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	DD	6,44	3	A
01/02/2008	DM	7,25	3	A
01/02/2008	T	7,29	3	A
01/05/2009	DM	10,60	3	A
01/05/2009	DD	10,98	3	A
01/05/2009	T	14,19	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

- **PSI 24-43 cm**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PSI 24-43 cm	18	0,77	0,36	42,26

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-
valor						
Modelo		428,21	11	38,93	1,86	0,2312
bloque		64,35	2	32,18	1,53	0,2897
tratamiento/bloque*tratami..		22,12	2	11,06	0,53	0,6153
bloque*tratamiento		190,32	4	47,58	2,27	0,1770
fecha		136,35	1	136,35	6,50	0,0435
fecha*tratamiento		15,08	2	7,54	0,36	0,7122
Error		125,86	6	20,98		
Total		554,07	17			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,47025**

Error: 20,9762 gl: 6

bloque	Medias	n	
3	8,22	6	A
2	11,67	6	A
1	12,63	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,47025**

Error: 20,9762 gl: 6

tratamiento	Medias	n	
DD	9,84	6	A
DM	10,29	6	A
T	12,39	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,20680**

Error: 20,9762 gl: 6

bloque	tratamiento	Medias	n		
3	DD	4,96	2	A	
2	DM	6,02	2	A	B
1	DD	7,95	2	A	B
3	DM	9,56	2	A	B
3	T	10,15	2	A	B
2	T	12,36	2	A	B
1	T	14,65	2	A	B
1	DM	15,30	2	A	B
2	DD	16,62	2		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,28294**

Error: 20,9762 gl: 6

fecha	Medias	n	
01/02/2008	8,09	9	A
01/05/2009	13,59	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=9,15032**

Error: 20,9762 gl: 6

fecha	tratamiento	Medias	n	
01/02/2008	DD	7,49	3	A
01/02/2008	T	8,37	3	A
01/02/2008	DM	8,40	3	A
01/05/2009	DM	12,18	3	A
01/05/2009	DD	12,19	3	A
01/05/2009	T	16,40	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )