



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

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

Modalidad: Proyecto de investigación

**EFFECTOS DEL USO SOBRE PROPIEDADES DE LOS SUELOS  
SÓDICOS DE SAN BASILIO –CÓRDOBA-**

Boccolini, María Eugenia

D.N.I. 34.574.679

Directora: Bonadeo, Elena

Co-directora: Marzari Rosana

Río cuarto – Córdoba

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**EFFECTOS DEL USO SOBRE PROPIEDADES DE SUELOS  
SÓDICOS DE SAN BASILIO –CBA-**

María Eugenia Boccolini

D.N.I: 34.574.679

Directora: Elena Bonadeo

Co-Directora: Rosana Marzari

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la  
Comisión Evaluadora:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Secretario Académico

## **DEDICATORIA**

A mis abuelos: beba y bebo que ya no están pero que me enseñaron a luchar en la vida y a nunca bajar los brazos

A toda mi familia, en especial a mis sobrinos: Pedro y Emilia que los adoro con todo mi corazón y que llegaron a mi vida mientras estudiaba esta carrera a llenarme de alegría.

Para todos los que están en mi corazón y los que vendrán...

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi directora de tesis, Elena Bonadeo gracias por trasmitirme todos sus conocimientos y ayudarme en este último paso para culminar la carrera, gran persona y profesora.

A Mayco mi compañero de vida.

Y A mi Mama y hermana por estar incondicionalmente..

A todos ¡¡GRACIAS!!

## INDICE

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
RESUMEN .....	8
SUMMARY .....	9
INTRODUCCION .....	10
Revisión bibliográfica.....	11
Características de los suelos sódicos del centro- sur de Córdoba: .....	11
Porosidad y densidad aparente.....	12
Dinámica hídrica .....	13
Reacción y conductividad eléctrica .....	13
Resistencia mecánica .....	14
Aireación.....	14
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS .....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos secundarios .....	15
MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
Caracterización del área de estudio.....	16
Clima.....	16
Relieve .....	16
Suelos.....	16
Napa freática .....	17
Situaciones a evaluar.....	17
Descripciones y Determinaciones.....	18
Muestreo de Suelos .....	19
Análisis estadístico.....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	19
Sodicidad de las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Minima alteración” .....	20
Propiedades Morfológicas .....	22
Densidad Aparente .....	25

Resistencia mecánica .....	26
Entrada de agua al suelo .....	27
Salinidad .....	28
Capacidad de almacenaje de aire .....	29
Contenido de Materia Orgánica .....	30
Reacción.....	32
Contenido de nutrientes .....	33
Calcio .....	33
Magnesio.....	34
Potasio .....	35
Saturación de la CIC con bases de intercambio .....	36
CONCLUSIONES .....	37
COMENTARIOS FINALES y RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA .....	39
ANEXOS .....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Capacidad de intercambio de cationes en todos los horizontes en meq/100g de suelo para las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”. .....	20
Tabla 2 :Contenido de Na intercambiable en meq/100gr de suelo y en % de la capacidad de intercambio catiónico para las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”.....	21
Tabla 3: Descripción morfológica del suelo de San Basilio correspondiente a la condición “Normal” (MN).....	22
Tabla 4 :Descripción morfológica del suelo de San Basilio correspondiente a la condición “Manchón”(MM). .....	23
Tabla 5 :Descripción morfológica del suelo de San Basilio correspondiente a la condición “Mínima alteración”(MA). .....	23
Tabla 6: Densidad aparente de la situación “Normal”, “Manchón” y “Mínima Alteración”. ....	25
Tabla 7: Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) de los horizontes en las tres situaciones “Manchón”, “Normal” y “Mínima alteración”.....	28

Tabla 8 : Capacidad para el aire para todos los horizontes en las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración” .....	29
Tabla 9: Contenido de Materia orgánica en los tres primeros horizontes de las situaciones "Normal", "Manchón" "Mínima alteración". .....	31
Tabla 10: pH por horizonte de las tres situaciones, Normal, Manchón y Mínima alteración. ....	32
Tabla 11: Contenido de Ca, en meq/100 g y en % de las tres situaciones evaluadas “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración” .....	33
Tabla 12: Contenido de Magnesio(Mg) en meq/100 g y en % de las tres situaciones evaluadas “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”. .....	34
Tabla 13: Contenidos de K, en meq/100 g y en % de las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración” .....	35
Tabla 14: Porcentaje de saturación de la CIC de todos los horizontes en las tres situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima Alteración” .....	36

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fenómeno de manchoneo en un lote del área de Villa María(Cba) .....	12
Figura 2: Imagen de google earth con ubicación del lote experimental donde se realizaron los muestreos.. .....	17
Figura 3: Pastura de alfalfa en “Manchón” y “Normal” en el potrero estudiado.....	21
Figura 4: Resistencia mecánica en función de la profundidad en las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración” .....	26
Figura 5: Variación de la velocidad de infiltración de las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima Alteración”. .....	27
Figura 6: Plantas muertas por déficit de oxígeno en suelos sódicos.....	30

## RESUMEN

La expansión de la frontera agropecuaria ha provocado la intensificación en el uso de los suelos sódicos produciendo a veces el deterioro de los mismos. Esto generó procesos de degradación y cambios en distintos parámetros del suelo. El objetivo del trabajo, fué evaluar los efectos del uso antrópico, sobre las propiedades de suelos sódicos de la zona de San Basilio, Córdoba. En el área se seleccionaron 3 situaciones, una de “Mínima alteración” (la cual tenía 30 años sin actividad agrícola) y las otras dos situaciones bajo uso agrícola-ganadero, que se las denominó “Manchón” (sectores donde la pastura tenía un menor desarrollo) y “Normal” (donde la pastura tenía mayor desarrollo). Se realizaron los muestreos correspondientes y se evaluó: densidad aparente, resistencia mecánica, entrada de agua al suelo, capacidad para el aire y condición nutricional, y luego se las comparó. Los resultados muestran que en las situaciones bajo uso se redujo la velocidad de infiltración, mientras que la resistencia mecánica fue mayor en “Manchón” respecto a “Normal” y “Mínima alteración”. El contenido de materia orgánica disminuyó en las situaciones bajo uso agrícola y fue mayor en Mínima alteración. En cuanto a la condición nutricional, en el caso del Calcio, se observó un menor porcentaje de saturación en los primeros horizontes de “Normal”, seguida de la situación “Manchón”, esto puede atribuirse al mayor desarrollo de la alfalfa en esta situación y por lo tanto mayor extracción por este cultivo, mientras que la menor saturación de bases en el primer horizonte de las tres situaciones estudiadas, también puede deberse a la extracción de nutrientes del suelo (Calcio, Magnesio y Potasio) por los cultivos. Respecto a la capacidad para el aire, se observó que en general las tres situaciones tienen escasa capacidad para el mismo. Se concluye que el uso y manejo afectó los primeros horizontes de todas las situaciones, el resto de las diferencias se atribuyen a la génesis del suelo.

**Palabra claves: Uso de suelo- Propiedades de suelo-Degradación - Mínima alteración-**



## SUMMARY

The expansion of the agricultural border has caused the intensification of the use of sodic soils, sometimes producing an inadequate use of them. This generated degradation processes and changes in different soil parameters. The objective of this thesis was to assess the effects of the anthropic use of the properties of sodic soils in the area of San Basilio, Córdoba. In the area, 3 situations were selected: one of "Minimum Alteration" (with 30 years without agricultural activity) and two other situations in which the soil was being used, which were called "Manchón" (sectors where the pasture had less development) and "Normal" (where the pasture had greater development). The corresponding samples were collected and analyzed: apparent density, mechanical resistance, entry of water into soil, air capacity and nutritional condition; then, the samples were compared. The results show that in the situations where the soil was being used, the infiltration rate was reduced, while the mechanical resistance was higher in "Manchón" with respect to "Normal" and "Minimum Alteration". The content of organic matter decreased in the situations under agricultural use and it was higher in "Minimum Alteration". Regarding the nutritional condition, in the case of Calcium a lower percentage of saturation was observed in the first "Normal" horizons, followed by the situation of "Manchón"; this can be attributed to the extraction of alfalfa that was made in the soil. The lower base saturation in the first horizon of the three situations studied in this thesis may be also due to the extraction of soil nutrients (Calcium, Magnesium and Potassium) by the crops. Regarding the air capacity, it was observed that in general the three situations have little air capacity. To obtain more conclusions, it is necessary to continue investigating how agricultural use affects the properties of sodic soils.

Keywords: use soil – soil properties – degradation – minimum alteration –

## INTRODUCCIÓN

Argentina es el país con mayor proporción de suelos sódicos en relación a la superficie agrícola de secano (Taboada y Lavado, 2008); sólo en la provincia de Córdoba hay 2.803.000 ha, de las cuales en el 54 %, la sodicidad se manifiesta entre 25 y 50 cm, en el 9,6% entre 50 y 125 cm y el 36,5% restante a menos de 25 cm de profundidad (INTA, 1993). La misma fuente menciona que en el Departamento Río Cuarto la sodicidad se manifiesta en el 60% de los casos entre 25 y 50 cm de profundidad, el 40% a menos de 25 cm, no existiendo suelos con sodicidad entre 50 y 125 cm de profundidad.

El aumento de la demanda de alimentos a nivel mundial, el incremento de precios de los commodities, la incorporación de nuevas tecnologías, entre otros factores, han producido la expansión de la frontera agropecuaria y una consecuente intensificación del uso de los suelos sódicos. En determinadas áreas de la Argentina, la ganadería ha sido reemplazada por la agricultura, a pesar de que los rendimientos no sean muy significativos (Viglizzo y Jobbagy, 2010).

Esta intensificación ha provocado un uso no acorde a las características de los suelos sódicos, tal es así que es frecuente observar que sobre ellos se realizan cultivos de soja de muy bajos rendimientos (Bonadeo *et al.* 2012). Los usos no adecuados provocan procesos de degradación, los mismos se pueden observar, cuando se los compara con condiciones prístinas o de mínima alteración. De estas comparaciones surgen incrementos de densidad aparente, de resistencia mecánica, disminución de la velocidad de infiltración, enlentecimiento del movimiento del agua, así como también disminución del intervalo hídrico óptimo (Conti, 2004).

Estos procesos de degradación, ocurren principalmente en los primeros horizontes, y cobran importancia en suelos con sodicidad subsuperficial, debido a que en ellos es de suma importancia el primer horizonte que es el de mayor calidad, por lo que su degradación por el uso se traduce en menores rendimientos de cultivos (Bonadeo *et al.*, 2013)

En los horizontes sódicos subsuperficiales, a diferencia de los salinos que poseen sales solubles, cuya concentración es de naturaleza variable en función de la dinámica hídrica, la presencia de sodio intercambiable es de carácter más estable, pues aparece como catión ( $\text{Na}^+$ ) adsorbido en la superficie de las partículas de arcilla. El catión sodio aparece siempre rodeado de una capa compuesta por moléculas de agua, e impiden que las arcillas saturadas con sodio floculen, lo que genera una estructura de suelo inestable y con elevada cantidad de microporos. Ello produce déficit de oxígeno cuando el contenido hídrico es elevado y altas resistencias

mecánicas cuando el suelo está muy seco, siendo ambas condiciones muy desfavorables para las raíces (Rengasamy, 1997).

De todo lo expuesto anteriormente, surge lo importante que es conocer los impactos que provocan las distintas tecnologías en este tipo de suelos. Además de ser relevante la superficie afectada por sodio en la provincia de Córdoba, hay que destacar que presenta precipitaciones superiores a 750 mm, lo que permitiría realizar cultivos en secano de altos rendimientos por lo tanto se la consideraría un ambiente interesante para la producción (Imbellone *et al.*, 2010)

En síntesis este trabajo generará información sobre el grado de deterioro de estos suelos, información que será útil para orientar sobre el uso y manejo correcto de los mismos.

## **Revisión bibliográfica**

### **Características de los suelos sódicos del centro- sur de Córdoba:**

Una de las particularidades que poseen los suelos sódicos del centro-sur de Córdoba es el fenómeno de “manchoneo”. Este se visualiza en porciones definidas del terreno, donde el crecimiento vegetal es desparejo, el número de plantas es escaso y éstas son de poca altura. Estos sectores tienen forma irregular, límites abruptos y tamaño variable denominado “manchones” (Bonadeo *et al.*, 2006) (Figura 1). La principal causa de este fenómeno es el elevado porcentaje de sodio intercambiable y elevado pH en horizontes subsuperficiales de los suelos del sector. Los mismos se alternan con áreas denominadas “normales” donde la vegetación presenta mayor desarrollo.



**Figura 1: Fenómeno de “manchoneo” en un lote del área de Villa María-Cba.**

### **Porosidad y Densidad aparente**

Al agruparse las partículas primarias en unidades separadas llamadas agregados, dejan entre ellos espacios vacíos, que de acuerdo al tamaño pueden denominarse macro y microporos. La distribución de éstos depende de la forma y distribución de los agregados, que a su vez dependen de los factores que condicionan la génesis y dinámica del suelo. El sistema poroso del suelo impacta sobre el balance de agua, entradas y salidas del sistema, entrada y difusión de gases y calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces. De todas las propiedades del suelo la porosidad es la más fácil, frecuente y ampliamente alterada por las operaciones de labranza con mínima remoción de suelo (Gil, 2006).

La densidad aparente al tener en cuenta el espacio ocupado por poros es una propiedad dinámica sujeta a cambios, principalmente en los primeros horizontes a causa de distintas fuerzas externas provenientes de las distintas prácticas de manejo o provenientes de la dinámica interna de los suelos. Esta variable, está influenciada por la textura, la materia orgánica, la estructura, el sistema poroso y el patrón de fisura (Portacasenellas *et al.*, 2003).

La densidad aparente (DAP) se refiere a la relación entre el peso seco de una muestra de suelo y el volumen que ocupó dicha muestra a campo con su ordenamiento natural (Gil, 2006). La misma es un parámetro que manifiesta de modo indirecto el estado estructural y el grado de compactación del suelo (Cerisola, 2004).

## **Dinámica hídrica**

El funcionamiento hídrico del suelo tiene como base fundamental el sistema poroso del mismo. El flujo de agua que circula será proporcional al diámetro de los poros, disminuyendo cuando el diámetro de los mismos se reduce. La conductividad hidráulica es una medida de la habilidad de un suelo para conducir agua bajo un gradiente de potencial hidráulico (Porta Casanellas *et al.*, 2003)

La infiltración es la válvula que regula la entrada de agua al suelo y se define como la entrada de agua al suelo a través de la superficie del mismo. Determina cuánta agua va entrar al suelo y cuanta va a escurrir o evaporar, (Bonadeo *et al.*, 2017).

En cuanto a la infiltración en suelos sódicos, es frecuente observar en ellos un sello que dificulta el ingreso de agua en los mismos. Estos sellos se endurecen cuando el suelo se seca, y reducen marcadamente la emergencia de plántulas (Álvarez *et al.*, 2006).

Otro proceso común en suelos sódicos es la acumulación de agua tanto en superficie como en subsuperficie a causa de la baja movilidad del agua. Esto se debe a dos causas, una es que gran parte del agua está fuertemente retenida a las arcillas y la otra es porque, el sistema de poros se encuentra colapsado por la inestabilidad de los agregados y como resultado de la oclusión del sistema de poros, se produce la disminución en la tasa de infiltración (Taboada y Álvarez, 2009).

Otro parámetro importante en el aspecto hídrico de los suelos es la capacidad de almacenamiento de agua. Para estudiar este parámetro se utilizan las curvas de capacidad hídrica que expresan la capacidad del suelo para retener agua en función de una succión ejercida (Koorevar *et al.*, 1983). Las mismas se utilizan para establecer la humedad disponible en el suelo, es decir la cantidad de agua que puede ser absorbida por la planta.

## **Reacción y Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica sirve para estimar la salinidad de una muestra en diferentes relaciones suelo: agua, la misma se mide con un conductímetro. El exceso de sodio de intercambio deteriora las propiedades físicas del suelo, siendo este efecto mayor si se presenta en cantidades, relativamente bajas la sales totales en la solución del suelo (Rengasamy, 1997). La estructura del suelo puede degradarse por una elevada concentración de sodio en el complejo de cambio. Este deterioro se manifiesta con una marcada disminución de la conductividad

hidráulica o con una menor tasa de infiltración del agua del suelo, producto de la dispersión de los sistemas coloidales y una consecuente disminución del tamaño de los poros (Portacasanella, 2003).

### **Resistencia mecánica**

La Resistencia mecánica es el conjunto de fuerzas desarrolladas por la matriz del suelo que se oponen a su deformación ante el esfuerzo de órganos vegetales en crecimiento. Si las partículas o agregados dejan en su arreglo poros grandes, estos permiten que las raíces exploren. Si los poros son pequeños pero se expanden ante presiones ejercidas por las raíces, las mismas no serán afectadas en su crecimiento. Cuando el diámetro de los poros es menor que el diámetro de las raíces y su resistencia a la penetración es elevada, el desarrollo de las raíces se verá perjudicada (Taboada y Alvarez, 2009).

La manifestación física de la Resistencia mecánica es a través de sellos, costras superficiales que pueden ser de origen genético o antrópico (Bonadeo *et al.*, 2017).

### **Aireación**

El aire comparte con el agua del suelo el espacio poroso del mismo, por lo que se dice que el volumen de poros que queda libre de agua cuando el suelo está a capacidad de campo, se conoce como capacidad del suelo para el aire que se expresa en porcentaje. En base a esta capacidad y a otros aspectos, el suelo tiene la propiedad de ofrecer a las plantas una aireación conveniente para las raíces. (Porta Casanellas, 2003).

Hay parámetros que determinan la capacidad para aire como lo son la granulometría y la estructura. En cuanto a la granulometría se dice que a mayor aumento del porcentaje de arcilla menor es el porcentaje de poros para el aire, mientras que cuando nos referimos a estructura, el tamaño de los agregados y la disposición de los mismos tiene fuerte influencia. A mayor tamaño de agregados mayor capacidad para el aire, además de acuerdo a como estén organizados y los poros que dejen entre ellos (pequeños o grandes) se reduce o aumenta la capacidad para el aire ( Bonadeo *et al.*,2017).

## **HIPÓTESIS**

El uso y manejo al que están sometidos los suelos sódicos en subsuperficie del Departamento de Rio Cuarto ha generado degradación de los horizontes superficiales. Las propiedades físicas, químicas e hídras son las principalmente afectadas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Evaluar el efecto del uso y manejo sobre las propiedades de un suelo sódico “manchoneado” del Departamento Rio Cuarto, provincia de Córdoba.

### **Objetivos secundarios**

Evaluar bajo una condición de “Mínima alteración” y bajo dos condiciones de uso agrícola-ganadero, “Manchón” y “Normal” las siguientes propiedades:

- Densidad aparente y Resistencia mecánica
- Entrada de agua al suelo
- Capacidad de aire
- Condición nutricional

## MATERIALES Y METODOS

Para lograr los objetivos propuestos se seleccionaron situaciones de Mínima alteración que sirvieron de referencia para comparar con las situaciones bajo uso mixto, es decir con historia de alternancia agrícola-ganadera.

*Ubicación del área de estudio* : el lugar donde se realizó la experiencia se encuentra ubicado a los 33 ° 29' de latitud S y a los 64 ° 21' de longitud O, aproximadamente 3 km al sur oeste de la localidad de San Basilio, Córdoba.(Figura 2)

### **Caracterización del área de estudio**

#### **Clima**

La zona de San Basilio posee clima mesotermal, subhúmedo con estación invernal seca. La precipitación media es de aproximadamente 800mm anuales, las mismas se distribuyen principalmente en los meses de verano. Las temperatura media de verano es de 23,5°C (enero) y la del mes más frío (julio) es de 8.5°C (de Prada *et.al.*, 2008)

#### **Relieve**

El relieve es subnormal. El área seleccionada corresponde a un sector bajo con mal drenaje a drenaje impedido y evidencias de afectación por napa en épocas pasadas (Cantero *et al.*.,1986).

#### **Suelos**

Los suelos del área están clasificados como Natrustoles típicos, los cuales poseen muy baja permeabilidad interna y elevada tendencia a la dispersión por efecto del sodio creciente en profundidad. Este tipo de suelos poseen textura franca en prácticamente todo el perfil.

En el área se manifiesta el fenómeno de “manchoneo” característico de los suelos sódicos. En la zona a estudiar además de los Natrustoles también puede haber Durustoles (aquellos que presentan duripanes), estos son muy comunes de encontrar en zonas donde hay mal drenaje o drenaje impedido (Cantero *et al.*, 1986).

El suelo de las tres situaciones seleccionadas corresponde a un Natrustol típico con variantes en su nivel de sodicidad.



## Napa freática

La profundidad de nivel freático está fundamentalmente condicionado por el relieve y fluctúa en respuesta a las lluvias de las estaciones y/o años más húmedos siendo la profundidad promedio de 4 m (Blarasin y Cabrera, 2005), aunque con oscilaciones en función de las precipitaciones.

## Situaciones a evaluar

Se seleccionó una situación de “Mínima alteración” la cual tenía, al menos, 30 años sin uso. Las dos situaciones restantes bajo uso corresponden a una rotación alfalfa – maíz de silo y soja. Dado que en los suelos sódicos es frecuente el fenómeno de “manchoneo de cultivos”, se seleccionaron dos lugares, uno donde la pastura presentaba mayor desarrollo que se denominó “Normal” y otro donde presentaba menor desarrollo llamado “Manchón”. De este modo quedan definidas tres situaciones o tratamientos no controlados.

- 1- Mínima Alteración (MA).
- 2- Uso mixto “Normal” (MN).
- 3- Uso mixto “Manchón” (MM).



**Figura 2: Imagen de Google Earth con ubicación del lote experimental donde se realizaron los muestreos.**

## Descripciones y Determinaciones

*Descripción morfológica:* se realizó siguiendo las normas de INTA (Etchevehere, 1976).

*Densidad aparente (DAP):* se determinó por el método del cilindro (Klute, 1986) en los cuatro primeros horizontes.

*Resistencia mecánica (RM):* se utilizó un penetrómetro de impacto tipo Villegas. El mismo posee sonda de punta cónica, con un ángulo de 60°, medido en su vértice y una sección de 2 cm<sup>2</sup>. En este instrumento hay que registrar el número de caídas de la pesa, con un peso conocido y desde una distancia también conocida, para introducir el pistón hasta una determinada profundidad, con lo que se puede calcular la energía gastada en esa operación. Luego, se utiliza la siguiente fórmula para determinar la resistencia mecánica:

$$R = k \times n^{\circ}$$

Donde:

R: resistencia a la penetración cada 5 cm de espesor de suelo (Mpa).

k: constante del penetrómetro (propia de cada equipo), 2,75 (kg/cm<sup>2</sup>) en este caso.

n°: número de impactos.

Se midió hasta los 50 cm de profundidad y se realizaron dos determinaciones por unidad experimental. El contenido de humedad se determinó para la misma profundidad anteriormente nombrada.

*Infiltración:* se determinó por medio de método del permeámetro de disco (Gil, 1999), a flujo saturado (0 kPa de tensión), en el horizonte subsuperficial.

*Capacidad para el aire:* se obtuvo a partir de la diferencia entre porosidad total y contenido hidrico volumétrico a 30 kPa. Los datos de porosidad total y contenido hidrico volumetrico a 30kpa, fueron extraidos de la tesis de Matias Madariaga actualmente en redacción.

*pH:* potenciométrico, relación suelo agua 1:2.5 (Klute, 1986) para los cuatro primeros horizontes.

*Conductividad Eléctrica:* relación suelo agua 1:1 (Klute, 1986) para los cuatro primeros horizontes.

Como la conductividad eléctrica se midió en una relación suelo: agua 1:1 ( $CE_{1:1}$ ) y se expresa como CE del extracto de saturación (CEe), se utilizó la siguiente ecuación para su transformación.

$$CEe = CE_{1:1} / \text{factor (1)}$$

En la ecuación (1) propuesta por Doran y Jones (1996) el factor que se tomo en este caso fue 0,56 el mismo varía según la textura del suelo.

*Materia orgánica total:* método Mebius (Page, 1982) en los tres primeros horizontes.

*Capacidad de intercambio catiónico:* según técnica de Page (1982) por horizonte.

*Calcio, Magnesio y Sodio intercambiables,* extracción según Richards (1973) y determinación por Espectrofotometría de Absorción Atómica para los cuatro primeros horizontes.

*Porcentaje de Ca, Mg, K y Na intercambiable:* se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ interc.} = (\text{Ca-Mg-K o Na int.} / \text{CIC}) * 100$$

Unidades: meq/100 gr o (Cmol/kg suelo)

Unidades de Capacidad de Intercambio catiónico (CIC): meq/100 gr.

### **Muestreo de Suelos**

Se muestrearon los cuatro primeros horizontes con barreno en 4 unidades experimentales de cada situación.

### **Análisis estadístico**

Para poder comparar las variables medidas en los tratamientos no controlados y establecer si existen diferencias entre ellas, se realizaron análisis de varianza. El test de comparación que se usó fue el DCG, con un nivel de significación del 0,05. El análisis estadístico se realizó con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.* 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Sodicidad de las situaciones “Normal”, “Manchón”, “Mínima alteración”

En la Tabla 1, se encuentran los datos obtenidos de capacidad de intercambio de cationes en todos los horizontes, para las tres situaciones estudiadas.

**Tabla 1: Capacidad de intercambio de cationes en todos los horizontes en meq/100g de suelo para las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”.**

CIC (meq/100g)			
Horizontes	Normal (MN)	Manchón (MM)	Mínima alteración(MA)
A	13,73 a	14,70 a	21,26 b
Btn1	16,84 a	17,65 a	20,31 a
Btn2	18,11 a	20,80 a	21,56 a
BC	17,34 a	19,38 a	21,43 b

**Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).**

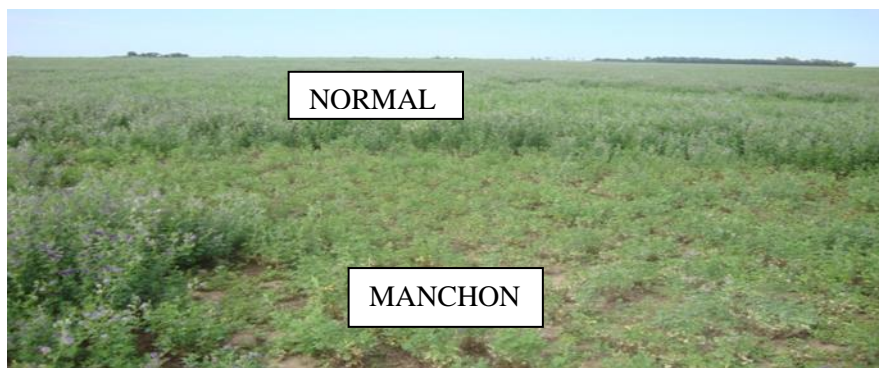
Con los valores de CIC, indicados en la Tabla 1, se calculan los % de saturación de Sodio que se visualizan en la Tabla 2. En la misma se muestra el contenido de Na intercambiable y el % de saturación de la capacidad de intercambio catiónico para las tres situaciones evaluadas “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración” en todos los horizontes.

**Tabla 2 :Contenido de Na intercambiable en meq/100gr de suelo y en % de la capacidad de intercambio catiónico para las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”.**

Na intercambiable	Normal(MN)		Manchón(MM)		Mínima alteración (MA)	
	meq/100 g	%	meq/100 g	%	meq/100 g	%
Horizontes						
Ap	0.51a	3.71	1.36 b	9.25	0.42 a	1.98
Btn1	0.71 a	4.22	4.08 b	23.11	0.35 a	1.72
Btn2	0.92 a	5.08	7.42 b	35.67	1,48 a	6.86
BC	1.14 a	6.57a	8.96 b	46.30a	3.69 a	17.21a

**Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P>0.05)**

En esta Tabla 2, se observa que la situación “Manchón” posee mayores valores de Na intercambiable respecto a las otras dos situaciones siendo significativamente diferentes para todos los horizontes.



**Figura 3: Pastura de alfalfa en Manchón y Normal en el potrero estudiado.**

Estos elevados valores de Na intercambiable en la situación “Manchón” pueden explicar en gran parte el diferente desarrollo del cultivo de alfalfa en esos sectores, además de impactar en otras propiedades del suelo que serán discutidas en las páginas siguientes.

Del análisis de la Tabla 2, no surge que exista un efecto definido del uso o no uso del suelo sobre el nivel de sodio y se asume que este responde a procesos genéticos.

### Propiedades Morfológicas

En las Tablas 3, 4 y 5 se encuentra la descripción morfológica de las tres situaciones investigadas, con especial énfasis en la estructura, ya que esta es una propiedad de los suelos muy influenciada por el uso y manejo y también por el contenido de sodio.

**Tabla 3: Descripción morfológica del suelo de San Basilio correspondiente a la condición “Normal” (MN).**

Horizonte (*)	Prof. (cm)	Textura	Estructura	Límite	Barnices	Observaciones
<b>A</b>	0-19	Franca	Bloq. aplanados medios fuertes	Abrupto		
<b>Btn1</b>	19-28	Franca	Prismas irregulares medios moderados	Claro	Barnices Pardos	
<b>Btn2</b>	28-43	Franca	Bloq.subangular es medios débiles	Claro		
<b>BC1</b>	43-70	Franca	Bloq.subangular es medios débiles	Abrupto		Concreciones
<b>Ck</b>	+ de 70	Franca arenosa	Masiva	Claro		Concreciones comunes medias y gruesas

**Tabla 4 :Descripción morfológica del suelo de San Basilio correspondiente a la condición “Manchón”(MM).**

<b>Horizonte (*)</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Textura</b>	<b>Estructura</b>	<b>Límite</b>	<b>Barnices</b>	<b>Observaciones</b>
<b>A</b>	0-19	Franca	Bloques aplanados medios fuertes.	Abrupto		
<b>Btn1</b>	19-28	Franca	Prismas irregulares medios fuertes	Abrupto	Barnices oscuros	
<b>Btn2</b>	28-51	Franca	Prismas que rompen a bloques subangulares medios fuertes	Claro	Barnices pardos	
<b>BC1</b>	51-87	Franca arenosa	Bloques subangulares medios débiles	Abrupto		Concreciones
<b>Cm</b>	+ de 87		Masiva			Fuertemente cementado

**Tabla 5 :Descripción morfológica del suelo de San Basilio correspondiente a la condición “Mínima alteración”(MA).**

<b>Horizonte (*)</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Textura</b>	<b>Estructura</b>	<b>Límite</b>	<b>Barnices</b>	<b>Observaciones</b>
<b>A</b>	0-20	Franca	Material suelto en los primeros centímetros. En bloques finos de grado moderado y granular el resto del horizonte	Abrupto		Los primeros 7-8 cm es material proveniente de otros lugares
<b>Btn1</b>	20-40	Franca	Prismas medios a grandes que rompen a bloques.	Abrupto	Barnices oscuros	
<b>Btn2</b>	40-60	Franca	Prismas medios a chicos que rompen a bloques	Claro	Barnices pardos	De color más claro que el horizonte anterior.
<b>BC</b>	60-80	Franca arenosa	Bloques subangulares medios débiles	Abrupto		
<b>C</b>						

(\*) Las denominaciones de los horizontes son tentativas y deben ser corroboradas.

Del análisis de estas tres situaciones y sus respectivas Tablas, surge que existen diferencias atribuibles al uso y manejo del suelo y diferencias de origen genético.

Entre las diferencias de estructura atribuibles al manejo del suelo se observa en las Tablas 3 y 4, que corresponden a situaciones bajo uso Mixto (“Manchón” y “Normal”), la degradación estructural del primer horizonte que es manifestada por la presencia de bloques aplanados medios fuertes. El aplanamiento de bloques así como su tamaño medio o grande y su grado fuerte, se corresponden con subtipos, clase y grados de estructura que han sido afectadas por el hombre. Esta afectación se traduce en una estructura más desfavorable no sólo para la emergencia de plántulas y exploración de raíces sino también para el proceso de entrada de agua al suelo. Este aspecto es citado por Casanella *et al.* (2014)

Contrariamente a lo mencionado en el párrafo anterior, la estructura granular y de bloques no aplanados más pequeños y de menor dureza del primer horizonte de “Mínima alteración” (MA), constituyen una estructura altamente favorable para los cultivos (Casanella *et al.*, 2014). En cuanto la presencia de material suelto en los primeros horizontes, se atribuye a que esta situación se encuentra más baja que las anteriores, 1 m de diferencia según google earth, por lo que podría haber movimiento de agua con suelo y depositarse las partículas en suspensión en la misma.

Entre otras diferencias se evidencian dos límites abruptos entre horizontes B para “Manchón” y “Mínima Alteración” y solo uno para “Normal” pudiendo ser de origen antrópico el superior y de origen genético el inferior. Además se menciona la presencia de un horizonte cementado en profundidad en Manchón, posiblemente un duripán. Este tipo de pan cementado es mencionado por Cantero Gutiérrez *et al.* (1986) quienes dicen que en esta área aparecen Durustoles. Esta capa cementada podría estar asociada a una capa de tosca degradada que ha mantenido su integridad solamente en algunos sectores (Bonadeo, com pers).

La presencia de barnices más oscuros en “Manchón” y “Mínima Alteración” indicaría una mayor presencia de humatos de sodio. Esto da la pauta, de una mayor afectación sódica en estas dos situaciones.

Con esta información morfológica, se deduce que el uso y manejo del suelo afectó solo en forma notoria el primer horizonte (estructura y límites) y que también los aspectos genéticos serían muy relevantes cuando se analiza la calidad del medio físico para la exploración de raíces.



## Densidad Aparente

En la Tabla 6, se muestran los resultados obtenidos de mediciones de Densidad aparente para las tres situaciones investigadas.

**Tabla 6: Densidad aparente de la situación “Normal”, “Manchón” y “Mínima Alteración”.**

<b>DENSIDAD APARENTE(DAP)</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>			
Situación	Normal(MN)	Manchón(MM)	Mínima alteración (MA)
A	1.51 b	1.52 b	1,37 a
Btn1	1.56 a	1.50 a	1,56 a
Btn2	1.44 a	1.44 a	1,59 a
BC	1.39 a	1.47 a	1,64 b

**Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P>0.05).**

Del análisis de la Tabla 6, se observa que el uso y manejo del suelo produjo un incremento estadísticamente significativo de la DAP en el primer horizonte de “Normal” (MN) y “Manchón” (MM).

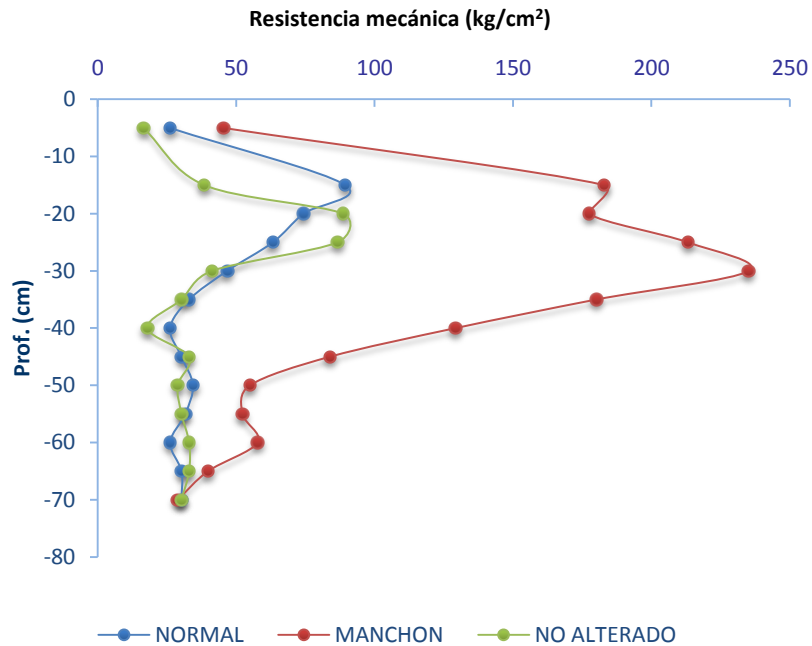
La elevada DAP de MN y MM se traduce en una disminución de los macroporos que son los responsables de la transmisión del agua hacia la profundidad (Bonadeo *et al.*, 2017)

En el horizonte Btn1 no existen diferencias significativas entre situaciones, ni tampoco en el Btn2. En este último horizonte si bien “Manchón” y “Normal” acusan menores DAP respecto de Mínima Alteración, la no existencia de diferencias significativas se atribuye a la elevada variabilidad. Esta elevada variabilidad entre repeticiones es una característica de los suelos sódicos (So and alymore, 1993).Este aspecto debería profundizarse.

En el último horizonte las diferencias no se atribuyen al uso del suelo. Se hipotetiza que podría existir algún grado de cementación producida por una tosca en degradación que fue detectada en “Manchón” (Tabla 4).

## Resistencia mecánica

En la Figura 4, se muestra la variación de la Resistencia mecánica (RM) con la profundidad para las tres situaciones.



**Figura 4: Resistencia mecánica en función de la profundidad para las situaciones Normal, Manchón y Mínima alteración. Las determinaciones se realizaron a contenidos hídricos cercanos al 50 % de agua útil.**

Se observan diferencias en el primer horizonte de RM, ocurriendo los mayores valores para “Manchón”. Estas diferencias pueden atribuirse al uso del suelo ya que el laboreo, el tránsito de maquinarias y animales producen incrementos de Resistencia mecánica.

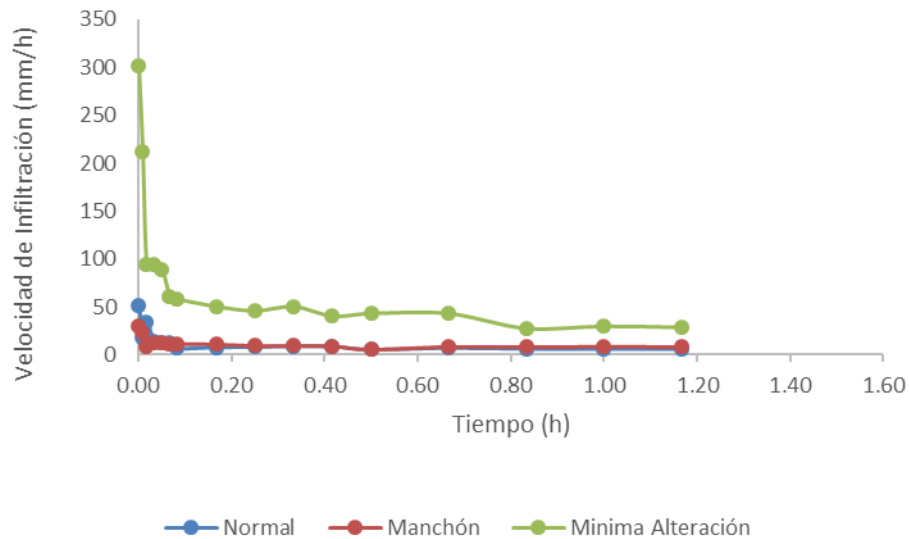
Los mayores valores de Resistencia mecánica se dan en “Manchón” para todas las profundidades, respecto a las otras dos situaciones. Esta importante diferencia puede atribuirse, en parte a la mayor compactación originada por el uso y manejo del suelo, pero fundamentalmente al elevado porcentaje de sodio intercambiable (Tabla 2) que genera esta elevada dureza en el suelo, especialmente a la succión medida.

Estos suelos acompañados de altos pH, provocan que las arcillas se hinchen y ejerzan grandes presiones dentro de los agregados, esto debilita las partículas, haciendo que se produzca un movimiento de las arcillas, con el consecuente bloqueo de los poros, aumentando la Resistencia mecánica (Taboada *et al.* 2009). Cuando el contenido de sodio es muy elevado como

en “Manchón”, estos suelos se comportan presentando altos valores de resistencia mecánica (Cosentino y Pecorari ,2002) aún con elevados contenidos de humedad.

### Entrada de agua al suelo

La evaluación del proceso de entrada de agua al suelo se realizó a través de la medición de la velocidad de infiltración. En la Figura 5 se observa, la velocidad de infiltración en función del tiempo para las tres situaciones analizadas.



**Figura 5: Variación de la velocidad de infiltración en el tiempo para las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima Alteración”.**

Del análisis de la Figura 5, surge que la velocidad de infiltración de “Mínima Alteración” siempre supera a “Normal” y a “Manchón”, siendo estas dos últimas situaciones muy similares. La velocidad final de infiltración para “Mínima alteración”(MA) es de 28.50 mm/h mientras que “Manchón”(MM) y “Normal”(MN) es de 8 y 6 mm/h respectivamente. Por lo tanto las dos situaciones agrícolas poseen una capacidad de absorción de agua alrededor de 4 veces menor.

Otro aspecto que debe resaltarse es que todas las situaciones tienen baja infiltración incluida MA, pero MM y MN son valores muy reducidos lo que genera alta susceptibilidad a que se acumule agua en superficie. La acumulación de agua en superficie tiene dos aspectos negativos, uno es que en cultivos sensibles al déficit de oxígeno como lo es la alfalfa, puede provocar la muerte de los mismos y el otro aspecto es que el agua se evapora en lugar de entrar al suelo lo que disminuye la disponibilidad de agua para los cultivos (Rengasamy, 1997).

A través de los datos obtenidos se deduce que el elevado contenido de sodio de estos suelos sería una de las causas de la baja infiltración de los mismos.

Como resultado de la oclusión del sistema poroso debido a la inestabilidad de los agregados, se produce la disminución de la tasa de infiltración (entrada de agua al suelo). Existe una relación directa e inversa entre la tasa de infiltración y el porcentaje de sodio intercambiable de un suelo (Taboada *et al.*, 2009).

“En suelos sódicos, donde los poros son inestables, la velocidad de infiltración se ve disminuída (Várallyay, 1981)

“Los bajos valores de velocidad de infiltración se atribuyen a la microporosidad asociada al elevado contenido de sodio que determina una lenta entrada de agua al suelo y posiblemente a la baja estabilidad de poros” (Várallyay, 1981).

### Salinidad

La Conductividad eléctrica es una medida del contenido de sales que poseen los suelos (Casanelas *et al.*, 2014). En la Tabla 7, se indican los valores de la CE para las tres situaciones.

El contenido de sales está estrechamente relacionado con la disponibilidad hídrica ya que produce incrementos de potencial osmótico por lo tanto disminuye la cantidad de energía libre del agua y se restringe la absorción por las raíces.

**Tabla 7: Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) de los horizontes en las tres situaciones “Manchón”, “Normal” y “Mínima alteración”.**

CE <sub>e</sub> (dS/m) (1)			
Horizontes	Normal (MN)	Manchón (MM)	Mínima Alteración(MA)
A	0,45 a	0,37 a	0,78 b
B <sub>tn1</sub>	0.62 a	1.53 b	0.98 a
B <sub>tn2</sub>	0.45 a	3.70 b	1,09 a
BC	0.86 a	2.56 b	4,03 c

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas.

(1): La CE<sub>e</sub> de extracto de saturación fue estimado a partir de medidas realizadas en relación suelo agua 1:1

En general no se podría atribuir las diferencias en contenido de sales a efectos del uso del suelo, ya que solo se observan valores elevados en profundidad, es decir sales que provienen de la napa freática y que no alcanzan la superficie en valores relevantes. Si se analiza el último horizonte se observa que los mayores valores de CE ocurren en MA, ello podría atribuirse a que esta situación se encuentra en una posición más baja del paisaje(1 metro medido por Google Earth) y por lo tanto fue más afectada por la napa.

En segundo lugar aparece la salinidad de MM, en la que si bien no existe diferencia de altura con MN, el mayor grado de dispersión por el mayor contenido de sodio (Tabla 2) facilita el ascenso pero dificulta el descenso de las sales del suelo (Rengasamy, 2002).

### Capacidad de almacenaje de aire

En la Tabla 8 consta la capacidad para el aire de los diferentes horizontes para las tres situaciones investigadas.

**Tabla 8 : Capacidad para el aire para todos los horizontes en las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración” .**

CAPACIDAD PARA EL AIRE (%)			
HORIZONTE	Normal (MN)	Manchón (MM)	Mínima alteración (MA)
A	4,77 a	5,38 a	18,08 b
Btn1	13,80 a	5,64 a	10,87 a
Btn2	2,49 a	0 a *	0 a *
BC	8,59 a	2,15 a	0 a *

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P>0.05).

**\*En estos horizontes los valores son levemente negativos pero como físicamente ello no tiene sentido se decide poner 0 a la capacidad para el aire y ese valor negativo se atribuye a error experimental.**

El umbral del 10% de porosidad de aireación es planteado por (Silva *et al.*; 1994), quien plantea que si la porosidad de aireación es menor a ese valor, el oxígeno prácticamente no difunde. Aunque estudios posteriores demostraron que la mayoría de las especies de importancia económica requerían de un umbral mayor que se acercaba al 15% de poros de aireación (Pilatti, 2012).

Si se toma como referencia el 10% de capacidad para el aire como el valor umbral, a partir del cual la mayoría de los cultivos podrían sufrir hipoxia o anoxia, se observa que excepto el primer horizonte de “Mínima alteración” y el segundo de “Normal” podrían sufrir déficit de oxígeno, los cultivos sensibles en condiciones de contenido hídrico mayores a 30 kPa.

Del análisis de los datos surge que solo el primer horizonte de MA superaría el umbral del 15% y también el Btn1 de MN y MA si se considera el umbral del 10%.

A modo de síntesis, se plantea que en general las tres situaciones tienen escasa capacidad para el aire. Como es sabido que la capacidad para el aire se calcula en base a los poros de drenaje, se deduce que al ser muy baja esta capacidad y por lo tanto muy escasos los poros de drenaje estos suelos, ante la presencia de lluvias abundantes y de alta intensidad, es alta la probabilidad de que sufran encharcamiento, que generalmente ocurre en sectores como se indica en la Figura 6, llegando a provocar la muerte de plantas de alfalfa.



**Figura 6: Plantas muertas por déficit de oxígeno en suelos sódicos.**

### **Contenido de Materia Orgánica**

En la Tabla 9, se muestran los resultados de contenido de Materia orgánica en los tres primeros horizontes correspondientes a las situaciones estudiadas.

**Tabla 9: Contenido de Materia orgánica en los tres primeros horizontes de las situaciones "Normal", "Manchón" y "Mínima alteración".**

Materia Orgánica (%)			
Horizontes	Normal(MN)	Manchón(MM)	Mínima alteración(MA)
A	1,99 a	1,87 a	2,36 a
Btn1	0,83 a	0,53 a	1,38 b
Btn2	0,22 a	0,25 a	0,66 b

**Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).**

A partir del análisis de los valores de Materia orgánica que se presentan en la Tabla 9 se observa que la situación “Mínima alteración” difiere de la “Normal” y “Manchón”. En el primer horizonte de la primer situación nombrada si bien el contenido de Materia orgánica es algo mayor que las demás situaciones las diferencias no son estadísticamente significativas, esto se puede atribuir a la presencia de materiales provenientes de otros lugares que se evidencian en la descripción morfológica de MA (Tabla 5).

En el segundo horizonte en las situaciones “Normal” y “Manchón” el porcentaje de materia orgánica es menor, debido posiblemente a la intensificación de la actividad agrícola, además otra de las causas puede ser la falta de rotaciones en el campo. También en el tercer horizonte se observa similar tendencia aunque los contenidos son muy bajos para todas las situaciones.

La disminución del contenido de materia orgánica por el uso del suelo es un efecto ampliamente documentado. Cuando se elimina la vegetación original de un ecosistema y se pone

bajo cultivo, el contenido de materia orgánica del suelo decrece. Este fenómeno es observado en casi todos los suelos del mundo (Álvarez,2006).

### Reacción

En la Tabla10, se muestran los resultados obtenidos de pH para las tres situaciones estudiadas.

**Tabla 10: pH por horizonte de las tres situaciones, “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”.**

pH			
Horizonte	Normal(MN)	Manchón(MM)	Mínima alteración (MA)
A	7.05 a	7.18 a	7,73 b
Btn1	7.45 a	8.23 b	8,30 b
Btn2	7.47 a	9.27 b	8,59 c
BC	8.58 a	9.79 b	8,65 a

**Las letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P>0.05)**

El menor pH de la situación normal puede atribuirse al menor contenido de sodio, pero también a la extracción de calcio por la pastura de alfalfa especialmente en los tres primeros horizontes, ya que el contenido de Ca está relacionado al pH del suelo (Portacasenellas,2003).

Se observa que los mayores pH ocurren en Manchón (MM) y Mínima Alteración (MA) lo que indica condiciones más desfavorables en estas dos situaciones. La variabilidad entre MN, MM y MA es una característica de los suelos sódicos (So and alymore,1993).



## Contenido de nutrientes

### Calcio

A continuación en la Tabla 11 se muestran los contenidos de Ca, expresados en meq/100 g y en % para las tres situaciones.

**Tabla 11: Contenido de Ca, en meq/100 g y en % de las tres situaciones evaluadas “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”.**

Ca intercambio	Normal( MN)		Manchón(MM)		Mínima alteración (MA)	
	meq/100 gr	%	meq/100 gr	%	meq/100 gr	%
A	5,20 a	37,87	5,27 a	35,85	10,00 b	47,00
Btn1	6,36 a	37,77	5,54 a	31,38	8,75 b	43,08
Btn2	6,87 a	34,62	5,67 a	27,26	7,81 a	36,22
BC	7,30 b	42,01	4,68 a	24,15	5,19 a	24,22

**Las letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P>0.05$ )**

En la Tabla 11, se observa que el % de saturación de Ca difiere entre las situaciones analizadas, siendo en general menores a los % de saturación de calcio de un complejo de cambio equilibrado que oscilan entre 60 a 65% de saturación del coloide (Bonadeo *et al.*, 2017).

Los menores valores de MM, a partir del segundo horizonte, estarían directamente relacionados al elevado PSI de esta situación, mientras que las diferencias entre MA y MN podrían atribuirse al uso del suelo, ya que el PSI de ambas situaciones es bajo. En la situación (MN) la realización de alfalfa durante muchos años produjo una disminución importante del % de Ca de intercambio respecto de “Mínima Alteración”, donde la vegetación es de tipo natural y de gramíneas donde la extracción de este nutriente es menor. Esta explicación también sirve para explicar el bajo contenido de Calcio del primer horizonte de MM donde la extracción de Calcio

por la alfalfa pudo ser importante, pero no en los horizontes más profundos ya que las raíces no profundizan en esta situación (Gallo, 2015).

### **Magnesio**

En la siguiente Tabla 12, se muestran los contenidos de Mg expresados en meq/100 g y en % para las tres situaciones.

**Tabla 12: Contenido de Magnesio(Mg) en meq/100 g y en % de las tres situaciones evaluadas “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”.**

MAGNESIO	Normal		Manchón		Mínima alteración		
	Horizontes	meq/100 g	%	meq/100 g	%	meq/100 g	%
A		2.11 a	15.36	2.10 a	14.29	1.63 a	7.66
Btn1		2.57 a	15.26	2.37 a	13.43	3.81 b	18.75
Btn2		3.77 b	20.82	2.97 a	14.28	3.85 b	17.85
BC		3.60 b	20.76	2.49 b	12.84	1.25 a	( X)

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

(X): Este valor no pudo ser medido, debido a que el suelo de esta situación posee una elevada CE (Tabla 7) por lo que no es factible hacerlo con la metodología utilizada.

## Potasio

En la Tabla 13, se muestran los contenidos de K, expresados en meq/100 g y en % para las situaciones evaluadas.

**Tabla 13: Contenidos de K, en meq/100 g y en % de las situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima alteración”.**

POTASIO	Normal(MN)		Manchón(MM)		Mínima alteración (MA)	
	meq/100 g	%	meq/100 g	%	meq/100 g	%
A	1.72 a	12.53	2.02 a	13.74	2.91 b	13.68
Btn1	2.17 a	12.88	2.25 a	12.75	4,82 b	23.73
Btn2	1.75 a	9.66	2.62 b	12.6	6,39 c	29.63
BC	1.75 a	10.09	2.58 b	13.31	7,15c	(X)

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P>0.05$ ).

(X): Este valor no pudo ser medido, debido a que el suelo de esta situación posee una elevada CE(tabla7) por lo que no es factible hacerlo con la metodología utilizada.

Los % de saturación con K para todos los horizontes de “Normal” (MN) y “Manchón” (MM) se encuentran dentro de los parámetros normales, ya que un complejo equilibrado posee de 5-15% de K intercambiable (Bonadeo *et al.*, 2017).

Para Mínima alteración (MA) solo en el primer horizonte se encuentra el % de K dentro de los valores esperados, porque a partir del segundo horizonte la saturación con K incrementa notoriamente.

Para el primer horizonte de las tres situaciones, la extracción de K por los cultivos en MN y MM y por los pastos naturales en MA posiblemente puedan explicar los valores indicados en la Tabla 13, que se observan en este horizonte.

### Saturación de la CIC con bases de intercambio

A continuación, en la Tabla se indica el porcentaje de saturación de la CIC de todos los horizontes de las tres situaciones.

**Tabla 14: Porcentaje de saturación de la CIC de todos los horizontes en las tres situaciones “Normal”, “Manchón” y “Mínima Alteración”**

Horizonte	Normal (MN) (%)	Manchón (MM)(%)	Mínima Alteración (MA) (%)
A	69.47	73.13	70,42
Btn1	69,89	80.67	90,97
Btn2	70.28	89.81	91,07
BC	79.42	113	106,26

**Las letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P>0.05$ )**

La saturación con bases de la capacidad de intercambio catiónico es un parámetro relacionado a la génesis del suelo pero también a la extracción de bases que realizan los cultivos.

Desde el punto de vista del uso, podría atribuirse la menor saturación de bases en el primer horizonte de las tres situaciones estudiadas a la extracción de Ca, Mg y K por los cultivos.

Se observa que la mayor saturación en “Mínima alteración”, se da a partir del segundo horizonte, esto puede atribuirse a que no se realizan cultivos y a que no hubo una extracción importante de nutrientes por las pasturas naturales que cubren este suelo.

## CONCLUSIONES

Debido a la gran variabilidad de los valores de las propiedades medidas entre las situaciones estudiadas, y a que las técnicas analíticas para suelos sódicos no siempre están estandarizadas, se considera sólo sobre las tendencias más relevantes.

Desde el punto de vista morfológico sólo se observa degradación por uso en la estructura del primer horizonte. El resto de las alteraciones morfológicas se atribuyen fundamentalmente a causas genéticas. La situación Manchón (MM) presenta la condición más desfavorable para la exploración de raíces.

Se registró una reducción de la velocidad de infiltración del orden de cuatro atribuible al uso del suelo y a la génesis.

Si bien se registran mayores valores de Resistencia mecánica de MM y MN respecto de MA en el primer horizonte, que pueden atribuirse al efecto del uso del suelo, las diferencias de Resistencia mecánica más relevantes son de MM respecto de los otros dos tratamientos. Esto se relaciona al elevado PSI de esta situación en los horizontes subsuperficiales.

Hay un efecto definido del uso sobre la capacidad para el aire del primer horizonte, lo que está asociado a baja porosidad de drenaje. Esto puede ser inconveniente porque da lugar a la acumulación de agua en esos sectores perjudicando a pasturas sensibles como la alfalfa que se realizan frecuentemente sobre estos suelos.

El uso del suelo disminuyó el contenido de Materia orgánica de los tres primeros horizontes de MM y MN.

El pH del suelo del primer horizonte de MN disminuyó posiblemente a causa de la mayor extracción de calcio por pastura de alfalfa en esta situación, dado su mayor desarrollo respecto de MM.

El menor % de saturación de Ca de los primeros horizontes de MN en primero lugar y de MM en segundo lugar puede atribuirse a los años de alfalfa que se realizaron en este suelo.

La menor saturación de bases en la situación “Normal” se atribuye a la extracción de nutrientes como Ca, Mg y K, por los cultivos que tienen mayor crecimiento en esa situación.

## COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

El elevado PSI de la situación MM aparece como determinante en el comportamiento de estos suelos siendo a priori un factor más relevante que el uso de los mismos.

Se debe tener cuidado extremo de la condición física superficial y de los primeros horizontes (no transitar en húmedo, reducir número de pasadas, etc.) dado que estos definen en gran parte la calidad de estos suelos.

Considerar la aplicación de enmiendas como yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que sirve para rehabilitar suelos sódicos, el principal efecto del mismo es mejorar la capacidad del suelo de infiltrar agua, además de reducir los valores de sodio superficiales.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, R. (2006). Materia orgánica: valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos (No. 631.417). FAUBA.
- BLARASIN, M. Y A. CABRERA 2005. Aguas subterráneas: Hidrolitología, Hidrodinámica e Hidrogequímica regional. En: Blarasin, M., Degiovanni, S.; Cabrera, A. y M. Villegas Aguas superficiales y subterráneas en el sur de Córdoba: una perspectiva geoambiental. Universidad Nacional de Río Cuarto. ISBN 950-665-350-X.Argentina.
- BONADEO E., MILÁN. C., OLIVO, S., GANUM GORRIZ, M. 2013 .Consideraciones sobre el diagnóstico y comportamiento de los suelos sódicos de Villa María. Córdoba. En: Rampone, A y G.Casetta Diplomado en gestión de la calidad en producción lechera. Editorial Héroe estudios. Universidad Nacional de Villa Maria.Argentina. Pp. 238-215.ISBN 978-987-699-045-5.
- BONADEO, E.; MILÁN, C.; MORENO, I.; OLIVO, S. Y M. J. GANUMGORRIZ 2012. Consideraciones sobre el diagnóstico y comportamiento de los suelos sódicos de Villa María, Córdoba. En: Rampone, A. y G. Casetta Diplomado en gestión de la calidad de la producción lechera. Ed. Heróes Estudios - Universidad Nacional de Villa María. Argentina 267 pp.
- BONADEO, E; HAMPP, E.; BONGIOVANNI, M.; MORENO, I. y A. ODORIZZI 2006.Relación entre propiedades físicas, químicas y raíces de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en suelos con “manchones”. Ci. Suelo 24 (2).Buenos Aires. Pp 101 – 107.
- BONADEO, E.,MORENO I.,BONGIOVANNI M.,MARZARI R.,GARRUM GORRIZ M.J.,2017 Sistema suelo planta ,1ra ed.Ed Unirio,Río Cuarto,Argentina.323p
- CANTERO, A.; BRICHI,E.M.; BECERRA, V.; CISNEROS, J.M.; Y H.GIL. 1986. Zonificación y descripción de Las tierras del departamento de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.
- CASANELLAS, J. P., REGUERÍN, M. L. A., & CLARET, R. M. P. (2014). Edafología: uso y protección de suelos. Mundi-Prensa Libros.
- CERISOLA, C. 2004. Uso del penetrómetro en un modelo lineal para estimar la densidad aparente seca de un suelo. En: Filgueira, R.; Micucci, F. (Eds). Metodologías

físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría. p. 75-95. Agropecuaria 8(1): 31-36 (2004). Facultad de Ciencias Agropecuarias -UNER.Argentina

- COSENTINO, D. J., & PECORARI, C. (2002). Limos de baja densidad: impacto sobre el comportamiento físico de los suelos de la región pampeana. Ciencia del suelo, 20(1), 9-16.
- CONTI, M. 2004. Efectos del uso agrícola sobre suelos vertisólicos. Revista Científica agropecuaria 8(1):31-36(2004).Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER.Argentina.
- DE PRADA, J, ANGELI, A., GIL, H, BECERRA, V., DEGIOANNI, A, CRESPI, R, PLEVICH, O, BOLOGNA, C, CISNEROS, J., Y OTROS. 2008. “Diagnóstico y Propuesta de Desarrollo Lácteo de San Basilio”. Informe Técnico. Protocolo Específico de Cooperación Municipalidad de San Basilio - Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC.Argentina. 104p.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- DORAN, J. W. y A. J. JONES. 1996. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA SpecialPublication. Madison, Wisconsin, USA. N° 49. Edición. Universidad de Buenos Aires, 272 p. ISBN 978-950-29-1074-1.
- ETCHEVERE, P. 1976. Normas de reconocimiento de suelos INTA Castelar. Publicación N°152.Argentina.
- GALLO, L.2015. Efectos de la sodicidad sobre propiedades físicas del suelo en un cultivo de alfalfa en San Basilio. Tesis final de grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentina.84 p.
- GIL, R. 1999. Permeámetro de disco. Publicación Instituto de suelo del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA) I.N.T.A. Castelar. 11 pp.
- Gil, R. 2006 El comportamiento fisico-funcional de los suelos. Algunos criterios para la cuantificación y diagnóstico del comportamiento estructural del suelo, y su relación con la dinámica del agua y la producción de los cultivos Disponible en: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/gil/Comportamiento%20Fisico-Funcional%20de%20Suelos.asp>. Consultado el 26/11/2014.
- IMBELLONE, P. A., GIMÚNEZ, J. E., & PANIGATTI, J. L. 2010. Suelos de la región pampeana. procesos de formación (No. P33 INTA 18288). INTA

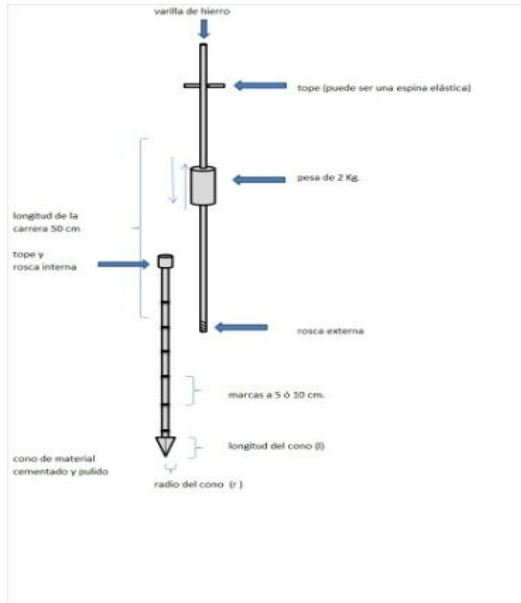


- INTA, 1993. Panorama Edafológico de Córdoba. Inventario de los Suelos y de Algunos Caracteres Edáficos de la Provincia por Departamentos y Pedanías. Plan Mapa de Suelos Córdoba. Argentina.
- KLUTE, A. (ed.) 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agron. Monograph N° 9 ASA, SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- KOOREVAAR, P., MENELIK, G., & DIRKSEN, C. (1983). Elements of soil physics (Vol. 13). Elsevier.
- PAGE, A.L. (ED.) 1982 Methods of soil analysis. Number 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Inc. Segunda Edición. Madison, Wisconsin, USA. 1159 pp.
- PILATTI, M. A., DE ORELLANA, J., DEL CARMEN IMHOFF, S., & PIRES DA SILVA, Á. (2012). Actualización de los límites críticos del intervalo hídrico óptimo. Ciencia del suelo, 30(1), 09-21.
- PORTA CASANELLAS, J., LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, M., & ROQUERO DE LABURU, C. (2003). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente.
- RENGASAMY, P. (2002). Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. Australian Journal of Experimental Agriculture, 42(3), 351-361.
- RENGASAMY, P. 1997. Sodic soils. In: Lal, R.; W.H. Blum; C. Valentine and B.A. Stewart Methods for assessment of soil degradation. CRC Press. Boca Raton. London. New York. Washington. pp 269.
- RICHARDS, L.A. 1973. Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa.
- SILVA, AP DA; BD KAY & E PERFECT. 1994. Characterisation of the least limiting water range of soil. Soil Science Society of America Journal 58: 1775-1781.
- SO, H., AND AYLMOORE, L. (1993). How do sodic soils behave - the effects of sodicity on soil physical behavior. Soil Research 31, 761-777.
- TABOADA, M. A, ALVAREZ C.R, LAVADO, R. S., RUBIO, G. & DAMIANO, F (2009). Alteraciones de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Iaed. Universidad de Buenos Aires. ISBN 978-950-29-1162-5. Argentina. 160p.

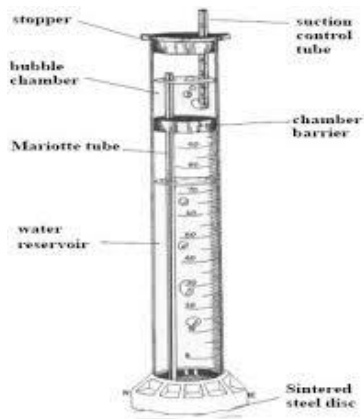
- VÁRALLYAY, G. 1981. Extreme Moisture Regime as the Main Limiting Factor of the Fertility of Salt Affected Soils, en *Agrokémia és Talajtan. Húngaro-Indian Seminar on Salt affected Soils*, 30(73-94). Budapest, Hungría.
- VIGLIZZO, E.F. Y E. JOBBAGY. 2010. *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental* INTA.102 p.ISBN 978-987-1623-89-9.

## ANEXOS

### Instrumental para realizar mediciones de algunas propiedades



### Penetrómetro para medir Resistencia mecánica



### Permeámetro de disco para medir Velocidad de infiltración

