

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

Proyecto de Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto de investigación

**EFFECTO DE LA QUITA DEL MONTE SOBRE LA SODICIDAD Y SALINIDAD DE  
SUELOS DEL CENTRO-ESTE DE CBA.**

**Bruno, Esteban**

**D.N.I.: 35.667.632**

**Directora:** Bonadeo, Elena. **D.N.I:** 11.347.811

**Co-Director:** Jorge González. **D.N.I:** 16.633.872

**Río Cuarto – Córdoba**

**Junio/2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

**Título del trabajo Final: EFECTO DE LA QUITA DEL MONTE SOBRE LA SODICIDAD Y SALINIDAD DE SUELOS DEL CENTRO-ESTE DE CBA.**

**Autor:** Bruno, Esteban.

**DNI N°:** 35.667.632.

**Director:** Bonadeo, Elena.

**Co-Director:** González Jorge.

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

_____	_____
<b>Nombre y apellido</b>	<b>Firma</b>
_____	_____
<b>Nombre y apellido</b>	<b>Firma</b>
_____	_____
<b>Nombre y apellido</b>	<b>Firma</b>

**Fecha de Presentación:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Secretario Académico.**

## **AGRADECIMIENTOS:**

A mi familia, por el apoyo incondicional.

A mis padres Nora y Hugo, por inculcarme el valor de estudiar, no solo para formarme en lo académico sino y más importante para formarme como persona. Les doy gracias por cada uno de esos lindos detalles, que me han ofrecido, en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos Mateo y Santiago, compañeros de siempre, pilares de la vida. Por su capacidad de brillar en los momentos más oscuros y por darme ánimo para continuar.

A mi directora Ing. Agr. (Msc.) Elena Bonadeo por hacer simple lo complicado, por guiarme en el camino correcto y por tomarse el arduo trabajo de trasmitirme sus diversos conocimientos.

Al Lic. Jorge González por formar parte de este proyecto y brindar sus conocimientos.

A mis amigos, en especial Mati, Malcom, Santi, Lucho, Keno, Andrea, Frizo y Pepe quienes forman parte de este trabajo y quienes tuvieron la capacidad de hacerme sentir bien en todo este tiempo.

A Euge, mi amiga, quien ha estado a mi lado desde que éramos niños y continúa a mi lado ofreciéndome lo mejor que tiene, gracias por tu apoyo y por tus esfuerzos de mantener siempre viva la amistad.

A mis compañeros de vida Diego, Mateo, Nico y Dieguito por hacer que todo sea más fácil y divertido en los años que compartimos juntos.

A mis compañeros, personas increíbles que fueron parte de mi formación y me ayudaron a encontrar el camino hacia la meta.

A la sociedad por brindarnos un derecho tan primordial como la educación pública. Beneficio de pocos sacrificios de muchos.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y a la Universidad Nacional de Villa María por abrirme sus puertas y poner a disposición sus servicios en estos años.

**A todos ustedes mis mayores agradecimientos**

## ÍNDICE DE TEXTO

INTRODUCCIÓN .....	- 11 -
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	- 14 -
Ubicación de Suelos Halomórficos.....	- 14 -
Vegetación Originaria .....	- 15 -
Influencia del Nivel Freático y de los Cambios de Vegetación en los Suelos .....	- 17 -
Definiciones: Suelos Sódicos.....	- 20 -
Relación del Sodio con el pH.....	- 21 -
Problemática de Suelos Sódicos .....	- 22 -
<i>Efectos del sodio sobre las propiedades físicas del suelo:</i> .....	- 22 -
<i>Efecto del sodio sobre la disponibilidad de nutrientes:</i> .....	- 22 -
<i>Efecto del sodio sobre las plantas (fitotoxicidad):</i> .....	- 23 -
Evaluación de la Sodicidad en Suelos.....	- 23 -
Reacción y Conductividad Eléctrica de los Suelos Sódicos y Salinos Sódicos .....	- 24 -
Variabilidad Espacial de Suelos Sódicos, su Cuantificación y Utilidad .....	- 24 -
HIPÓTESIS .....	- 26 -
OBJETIVO GENERAL .....	- 26 -
Objetivos Específicos .....	- 26 -
MATERIALES Y MÉTODOS .....	- 27 -
Caracterización del Área Experimental: .....	- 27 -
<i>Ubicación del área experimental</i> .....	- 27 -
<i>Geomorfología –Relieve</i> .....	- 28 -
<i>Vegetación originaria</i> .....	- 28 -
<i>Clima, balance hidrológico y suelo</i> .....	- 29 -
Caracterización de los Suelos en Cada Sitio en Estudio.....	- 30 -
Caracterización de Napa Freática .....	- 34 -
<i>Análisis químico</i> .....	- 34 -

Caracterización de Suelo Bajo un Árbol Representativo .....	- 35 -
Sitios Abordados .....	- 35 -
Muestreo en Grilla No Alineado .....	- 37 -
Determinaciones .....	- 41 -
<i>pH actual</i> .....	- 41 -
<i>Conductividad eléctrica</i> .....	- 41 -
Análisis Estadísticos.....	- 41 -
<i>Estadística descriptiva</i> .....	- 41 -
<i>Geoestadística</i> .....	- 41 -
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>- 42 -</b>
Análisis de Datos No Georreferenciados.....	- 42 -
<i>Conductividad eléctrica en monte y agricultura</i> .....	- 42 -
<i>Distribucion de frecuencias de conductividad eléctrica y pH</i> .....	- 44 -
<i>Conductividad eléctrica en monte para “árbol” y “gramínea”</i> .....	- 49 -
<i>Conductividad eléctrica en agricultura para “manchón” y “normal”</i> .....	- 50 -
<i>pH en monte y agricultura</i> .....	- 52 -
<i>pH en monte para “árbol” y “gramínea”</i> .....	- 54 -
<i>pH en agricultura para “manchón” y “normal”</i> .....	- 55 -
Caracterización de Suelo Bajo Un Árbol Representativo .....	- 56 -
Análisis de Datos Georreferenciados.....	- 57 -
Agrupamiento de Datos en las Situaciones Abordadas .....	- 64 -
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>- 65 -</b>
<b>CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>- 66 -</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>- 67 -</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>- 75 -</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Propiedades morfológicas de situación monte árbol.....	30
<b>Tabla 2.</b> Propiedades morfológicas de situación monte gramínea.....	31
<b>Tabla 3.</b> Propiedades morfológicas de la situación agricultura normal.....	32
<b>Tabla 4.</b> Propiedades morfológicas de la situación agricultura manchón.....	33
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje (%) de materia orgánica de calicatas en las distintas situaciones.....	33
<b>Tabla 6.</b> Resultados de análisis químico de agua de napa.....	34
<b>Tabla 7.</b> Resumen Estadística Descriptiva – Monte Vs Agricultura Conductividad Eléctrica ( $ds\ m^{-1}$ ).....	44
<b>Tabla 8.</b> Resumen Estadística Descriptiva Monte – Árbol vs Gramíneas Conductividad Eléctrica ( $ds\ m^{-1}$ ).....	49
<b>Tabla 9.</b> Resumen Estadística Descriptiva Agricultura– Manchón Vs Normal Conductividad Eléctrica ( $ds\ m^{-1}$ ).....	51
<b>Tabla 10 –</b> Resumen Estadística Descriptiva Monte Vs Agricultura pH.....	53
<b>Tabla 11-</b> Resumen Estadística Descriptiva Monte – Árbol Vs Gramíneas pH.....	55
<b>Tabla 12-</b> Resumen Estadística Descriptiva Agricultura – Normal vs Manchón pH.....	56
<b>Tabla 13.</b> pH y Conductividad eléctrica 1:1 en suelo bajo árbol representativo.....	57
<b>Tabla 14.</b> Parámetros de los semivariogramas para las variables analizadas situación agricultura.....	60
<b>Tabla 15.</b> Parámetros de los semivariogramas para las variables analizadas situación monte.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Cambios en el área cultivada en las ecorregiones de Argentina durante tres periodos (Vigglizo et al. 2010).....	11
<b>Figura 2.</b> Red hidrográfica de las “provincias pampeanas” donde se indican regiones con suelos afectados por fenómenos de salinidad-sodicidad-hidromorfismo (Taboada y Lavado, 2009).....	15
<b>Figura 3.</b> Regiones Forestales de la Argentina (SAyDSN. Dirección de bosques, 2003).....	16
<b>Figura 4.</b> Mapa de la Región del Espinal en la provincia de Córdoba (SAyDSN, 2014).....	17
<b>Figura 5.</b> Balance hidrológico y acumulación de sales en pastizales subhúmedos y modificaciones asociadas al establecimiento de forestación (Jobbagy <i>et al.</i> , 2008).....	19
<b>Figura 6.</b> Modelo jerárquico de condiciones que favorecen el proceso de salinización por cambios de vegetación (Jobbagy <i>et al.</i> , 2008).....	20
<b>Figura 7.</b> Localización Estancia El Tigre, Arroyo Algodón (Google Earth, 2014).....	27
<b>Figura 8.</b> Algarrobo añejo representativo (Milán, 2012; comunicación personal).....	29
<b>Figura 9.</b> Muestreo en Algarrobo representativo.....	35
<b>Figura 10.</b> Imagen satelital del área de estudio (Google Earth, 2015).....	36
<b>Figura 11.</b> Representación del sistema de muestreo en grilla no alineado (Google earth 2015).....	37
<b>Figura 12.</b> Situaciones a muestrear “árboles” (izquierda) y “gramíneas” (derecha).....	38
<b>Figura 13.</b> Situaciones a muestrear “manchón” (izquierda) y “normal” (derecha).....	38
<b>Figura 14.</b> Monte Intervenido.....	50
<b>Figura 15.</b> Semivariogramas para variables edáficas. Agricultura a) CE 0-15cm b) CE 15-23cm y c) pH 0-15cm. La línea punteada corresponde a la varianza de la muestra....	58
<b>Figura 16.</b> Semivariogramas para variables edáficas. Monte a) pH 23-41cm b) pH +41cm. La línea punteada corresponde a la varianza de la muestra.....	59
<b>Figura 17.</b> Mapas de isoclasas. Agricultura a) CE 0-15cm, b) CE15-23cm, c) pH 0-15cm.....	62
<b>Figura 18.</b> Mapas de isoclasas. Monte a) pH 23-41cm, b) pH +41cm.....	63
<b>Figura 19.</b> Análisis conglomerado de CE y pH para las situaciones estudiadas.....	64

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**A:** árbol

**AM:** agricultura manchón

**AN:** agricultura normal

**ANAVA:** análisis de la varianza

**CIC:** capacidad de intercambio catiónico

**CE:** conductividad eléctrica

**CV:** coeficiente de variación

**CSR:** carbonato de sodio residual

**EO:** establecimiento

**ET:** evapotranspiración

**FAO:** Food and agriculture Organization

**INTA:** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

**LSD Fisher:** método de comparaciones múltiples

**NO:** noroeste

**M:** manchón

**MA:** monte árbol

**MO:** materia orgánica

**MG:** monte gramíneas

**PPT:** totalidad de agua aportada por precipitaciones

**PSI:** porcentaje de sodio intercambiable

**PSS:** porcentaje de sodio soluble

**RAS:** relación de adsorción de sodio

**R<sup>2</sup>:** regresión lineal

**RM:** resistencia mecánica

**SIG:** sistema de información geográfica

**GNSS:** sistema de posicionamiento global

**UNRC:** Universidad Nacional de Río Cuarto

**UNVM:** Universidad Nacional de Villa María

**URSS:** Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas

**USDA:** United States Department of Agriculture

## RESUMEN

En el centro-este de la provincia de Córdoba, Argentina, los suelos salinos sódicos han evolucionado a partir de vegetación de bosque seco. La quita del mismo ha permitido la incorporación de las tierras para uso ganadero o agrícola. Debido a que el bosque nativo ejerce un control significativo sobre la regulación del balance hídrico, se plantea la hipótesis de que su eliminación provocaría cambios en la recarga de agua y en la evapotranspiración influyendo en la redistribución de sales y sodio en el perfil. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la quita del bosque seco sobre el contenido y distribución de sales y sodio de un suelo bajo uso agrícola con énfasis en la distribución espacial. La situación de monte se dividió, en "árbol" y "gramínea" y la situación de agricultura en "manchón" y "normal" esta última división, para contemplar el fenómeno de "manchoneo" característico de suelos sódicos. Se tomaron muestras en 0.5 ha en cada situación según un diseño de grilla (10m\*10m) y a 4 profundidades 0-15cm, 15-23cm, 23-41cm, 41-61cm. Las variables evaluadas fueron pH y conductividad eléctrica (CE). Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y geoestadística. Los resultados muestran valores más altos de CE bajo "árbol" y bajo "manchón" y valores más altos de pH bajo "manchón" particularmente. A partir de la geoestadística y los mapas de isocurvas que se realizaron se infiere un comportamiento similar en el patrón de distribución de las variables analizadas en bosque y en agricultura. Se concluye que la eliminación de los árboles del monte puede ser una de las causas de las diferencias encontradas en los valores de pH y CE aunque también se consideran otros factores. Los valores que tomaron las variables permitieron diferenciar cada situación deduciéndose un comportamiento similar entre "árbol" y "manchón" y entre "gramínea" y "normal".

Palabras Claves: suelos salinos sódicos, bosque seco, agricultura, "manchoneo", conductividad eléctrica y pH.

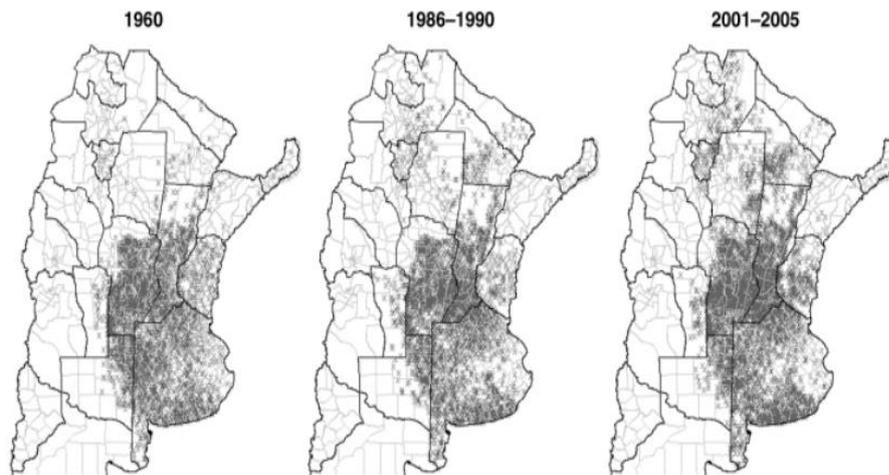
## SUMMARY

In the central-eastern province of Cordoba, Argentina, saline sodic soils have evolved from dry forest vegetation. The removal of it has allowed the incorporation of land for livestock or agricultural use. Because the native forest exerts significant control over the regulation of water balance. It is hypothesized that their removal would cause changes in water recharge and evapotranspiration to influence the redistribution of salts and sodium profile. The aim of the study was to evaluate the effect of removing the dry forest on the content and distribution of salts and sodium in soils under agricultural use with emphasis on spatial distribution. Mount situation was divided in "tree" and "grass" and agriculture situation in "patch" and "normal", this last division, to contemplate the phenomenon of "patching" characteristic of sodic soils. Samples has been taken on 0.5 ha in each situation according to a grid layout (10m \* 10m) and 4 depths 0-15cm, 15-23cm, 23-41cm, 41-61cm. The variables studied were pH and electrical conductivity (EC). Data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics. The results show higher values of EC under "tree" and under "patch" and higher pH values under "patch" particularly. From geostatistics and maps isolines could be shown a similar behavior in the distribution pattern of the variables analyzed in mount and agriculture. It is concluded that the removal of the forest trees can be one of the causes of the differences found in the values of pH and EC between the situations investigated, although other factors are also analyzed. The values taking the variables were able to distinguish each situation deducting similar behavior between "tree" and "patch" and between "grass" and "normal".

Keywords: sodic saline soils, dry forest, agriculture, patching, electrical conductivity and pH.

## INTRODUCCIÓN

La influencia humana sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres ha alcanzado niveles sin precedentes en el último medio siglo, afectando entre otros procesos el ciclo hidrológico y la disponibilidad de recursos hídricos en distintas regiones del planeta, planteando con frecuencia compromisos entre la producción de bienes primarios y la oferta actual y futura de agua potable (Alley et al. 2002; Postel et al. 1996). En Argentina la agricultura se expande sobre nuevos territorios incluyendo regiones semiáridas previamente destinadas a la ganadería donde predominan suelos con problemas de hidrohalomorfismo (Solbrig 1999). El avance de la frontera agrícola en los últimos años (Figura 1), consecuencia de un acelerado desmonte y reemplazo de sistemas naturales, ha permitido realizar agricultura en zonas marginales donde antes era impensado hacerlo, fenómeno conocido con el nombre de Agriculturización (Jobbágy, 2010).



**Figura 1.** Cambios en el área cultivada en las ecorregiones de Argentina durante tres periodos. 1 punto = 7500ha (Viggliozzi et al. 2010).

Este proceso ha traído grandes consecuencias en los últimos tiempos, debido a la susceptibilidad que estos ambientes poseen (suelos hidro-halomorficos) y a la utilización inadecuada de los mismos. En estos ecosistemas la vegetación ejerce un control importante en la regulación del balance hídrico (Seyfried et al. 2005; Wainwright et al. 2002), por lo tanto estos cambios en el uso de la tierra podrían tener importantes consecuencias en el balance de agua y sus principales componentes (evapotranspiración y drenaje/recarga) como también en la redistribución de solutos en el perfil. Históricamente estos suelos fueron destinados a la producción ganadera, pero paralelamente al proceso de agriculturización de la región (Manuel-Navarrete et al. 2005), en los últimos años fueron incorporándose a la producción de grano. En estos ambientes los rendimientos de cultivos estivales como soja y

maíz han presentado una marcada variabilidad interanual. En años de elevada oferta hídrica, los rendimientos resultan similares a los de tierras de mayor aptitud, mientras que en años de menor pluviometría, los rendimientos resultan entre un 30 y 50% menores que el resto de los lotes (Peralta et al. 2012) manifestándose las limitantes que estos ambientes imponen a los cultivos. Dada la gran extensión que ocupan estos suelos en el país, la región pampeana de Argentina cuenta con más de 10 millones de has. clasificadas como suelos sódicos (Scoppa et al. 1985), la problemática de producción sobre éstos resulta de interés regional y local.

Los intentos de implantar cultivos agrícolas en suelos de diversas zonas con este tipo de problema han fracasado manifestando áreas de bajos rendimientos en cantidad y calidad, encharcamiento, manchones de escaso desarrollo y áreas sin germinar por exceso de sales o sodio (Imbellone *et al.* 2010a).

Los suelos halomorficos de la región Chaco-Pampeana Argentina, en la que está incluida la parte central y norte de la provincia de Córdoba, no han quedado fuera de este fenómeno y por lo tanto se han incorporado tierras a la producción agrícola, las cuales hasta hace no mucho tiempo, se consideraban con altas limitaciones edáficas y climáticas para desarrollarla. Esto ha llevado a ponernos en contacto con sistemas naturales más frágiles y susceptibles, los cuales pueden degradarse fácilmente si su manejo no es adecuado, por lo tanto conocer el comportamiento de los mismos ante distintas situaciones es imprescindible para evitar el agravamiento de la situación. Qadir et al. (2002) plantea, que el uso de los suelos sódicos para la producción de cultivos aumente en un futuro próximo, por lo tanto el uso sostenible de tales suelos para la producción de alimentos y pastos se convertirá en una cuestión necesaria de investigar para evitar problemas de mayor índole. El manejo de estos suelos está estrechamente relacionado al origen y grado de restricciones de los mismos. Por lo tanto, es de vital importancia describir las causas y factores que originan la formación de los suelos sódicos para que de esa forma se logren desarrollar técnicas para su manejo y recuperación.

A nivel mundial, las estimaciones indican que alrededor de 955 millones de hectáreas se encuentran afectadas por esta problemática hidrohalmorfica (Qadir *et al.*, 2000). Argentina, según FAO (1988; Imbellone et al. 2010b), ocupa el tercer lugar a nivel mundial en cuanto a superficie afectada por este fenómeno, detrás de Rusia y Australia. Esta problemática es de especial relevancia debido a las grandes áreas que afecta en el país, según Taboada y Lavado (2008) Argentina es el país con mayor proporción de suelos sódicos en relación a la superficie agrícola de secano. En un plano más regional, la provincia de Córdoba tiene una superficie de más de 2 millones de hectáreas con suelos salinos y/o sódicos (Gorgas y Bustos, 2008). En el centro - este de la provincia de Córdoba, Argentina, estos suelos han evolucionado a partir de la vegetación de bosque seco (fisonómica y

ambientalmente a los de Chacho y Espinal Argentino), donde los algarrobos (*Prosopis spp*) son las especies de “árboles” más comunes, junto con arbustos y un estrato herbáceo dominado por “gramíneas”. La eliminación del bosque seco ha permitido la producción de pastos y el comienzo de la explotación agrícola, siendo la alfalfa, soja, maní y maíz los cultivos más frecuentes (Milan et al, 2013). Cuando un suelo virgen es cultivado, la pérdida de materia orgánica es abrupta. Lo mismo ocurre cuando un suelo forestal es desmontado y cultivado. La disminución de la materia orgánica es más rápida en los primeros años de uso agrícola y luego se hace más lenta tendiendo a un equilibrio. Si el agroecosistema tiene una baja velocidad de erosión puede llegarse a un nuevo equilibrio en el nivel de materia orgánica que es generalmente un 40-60 % del que tenía el suelo virgen (Álvarez y Steinbach, 2006). Quiroga *et al.* (2008) sostiene que la materia orgánica es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad.

La región centro-este de Córdoba se caracteriza por un relieve subnormal y suelos de textura franco limoso de origen loessico. La precipitación anual media es de 733 mm, con una distribución de tipo monzónica. Registros realizados en las cercanías de la localidad de Arroyo Algodón-Cba, muestran que la profundidad media y la conductividad eléctrica (CE) del freático fue 4,00 m y 1,30 dS m<sup>-1</sup>, con claro predominio de sales de bicarbonato de sodio. (Milan et al, 2013). En el área en cuestión es frecuente la aparición en los principales cultivos y pasturas de sectores de superficie variable, con límites bien definidos, caracterizados por un menor desarrollo de la parte aérea vegetal, denominados comúnmente “manchón”. Estos sectores alternan con áreas denominadas “normales” donde la vegetación presenta mayor desarrollo (Bonadeo et al. 2006). Una de las características sobresalientes de este fenómeno es el abrupto cambio entre la superficie afectada y la no afectada, siendo las dimensiones de las áreas afectadas del orden de metros (Hampp *et al.*, 2004). Por lo tanto esto permite especular sobre una posible relación entre la eliminación de la vegetación autóctona y la redistribución de las sales en el perfil del suelo, debido a que el bosque nativo ejerce un control significativo sobre el balance de agua y su eliminación causaría cambios en la recarga y en la evapotranspiración influyendo de forma directa sobre la redistribución de sales y sodio del perfil generando el fenómeno de manchoneo en agricultura (Milan, 2013). La distribución de sales y sodio en los suelos a investigar, tanto en situación de monte como de agricultura, presentan una elevada variabilidad espacial, aspecto que generalmente no es evaluado, sino que los diagnósticos se realizan en base a observaciones puntuales, lo que lleva muchas veces a conclusiones poco precisas, por ello se considera de especial relevancia abordar esta problemática. El cultivo del suelo provoca modificaciones en la variabilidad espacial de las propiedades, dependiendo de la intensidad del laboreo (Souza et

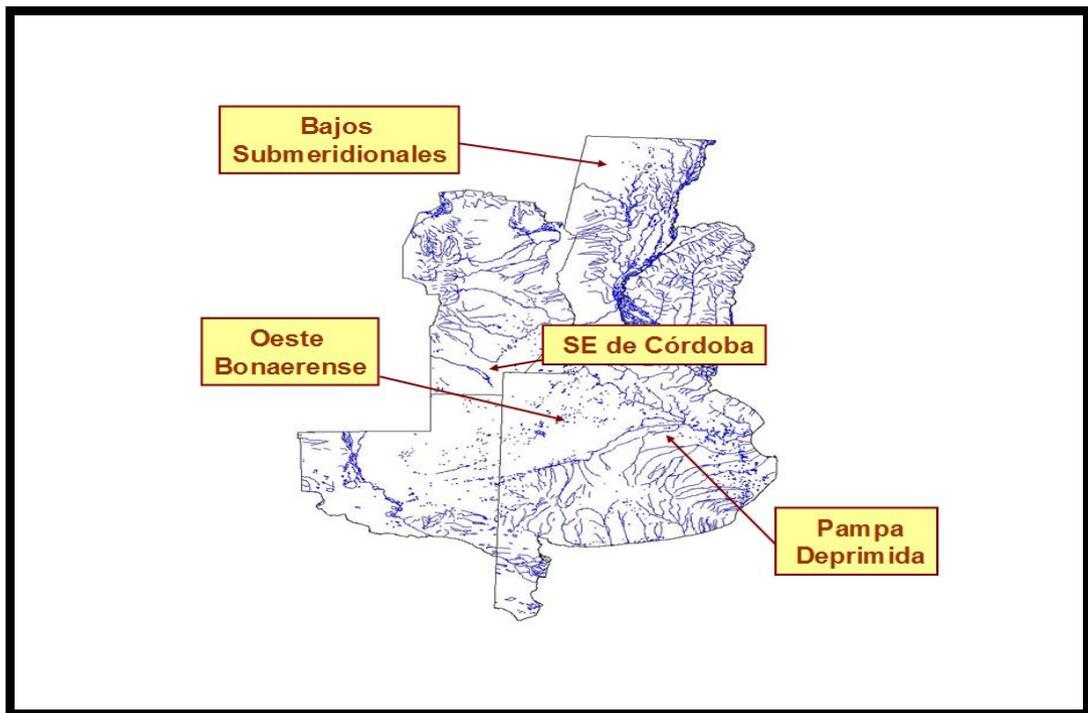
al. 2004a; UTSET y CID. 2001; Streck et al. 2004). La mayoría de los productores agrícolas consideran el suelo como uniforme a la hora del manejo, pero las propiedades del suelo son variables en el espacio y en el tiempo. Como consecuencia de estas variaciones, el uso del valor medio de una propiedad en estudio es a veces de poca utilidad, conduciendo a decisiones de manejo equivocadas, principalmente cuando estas decisiones se refieren al sistema suelo-planta-atmósfera (Macedo et al., 1998).

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo de interés agrícola, principalmente en áreas extensas puede ser relativamente elevada (Souza et al., 2004b), necesitando un manejo localizado que considere su variabilidad, lo que favorece la reducción de los costos de producción, debido al mejor aprovechamiento de los insumos y de la maquinaria agrícola. La aplicación de un manejo diferenciado del suelo, por medio del aprovechamiento de las diferencias en los campos de cultivo, depende de un conocimiento adecuado de la variabilidad espacial de las propiedades del sistema suelo-planta (Santos et al., 2003). Para ello contamos con nuevas tecnologías, como los sistemas de posicionamiento global (GNSS), de información geográfica (SIG) y técnicas geoestadísticas, que permiten identificar el comportamiento espacial de los suelos, con el fin de optimizar el uso de los diferentes recursos agrícolas y maximizar la producción de cultivos, vitales para la sostenibilidad agrícola y ambiental. Estas tecnologías permiten valorar y entender el comportamiento espacial y las diferentes relaciones entre las variables del suelo, la productividad de las plantas, así como de plagas y de enfermedades (Castrignano *et al.* 2002), comportamiento que ocurre a diferentes escalas, como resultado de procesos dinámicos del clima y las labores agrícolas (Molin *et al.* 2008).

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **Ubicación de Suelos Halomórficos**

En Argentina las regiones donde abundan estos suelos son la Pampa Deprimida en la provincia de Buenos Aires, la Llanura Deprimida del Oeste Bonaerense, el este-sudeste de Córdoba, sur de Santa Fé y los bajos submeridionales del sur de Chaco y norte de Santa Fé (Figura 2) (Taboada y Lavado, 2009).

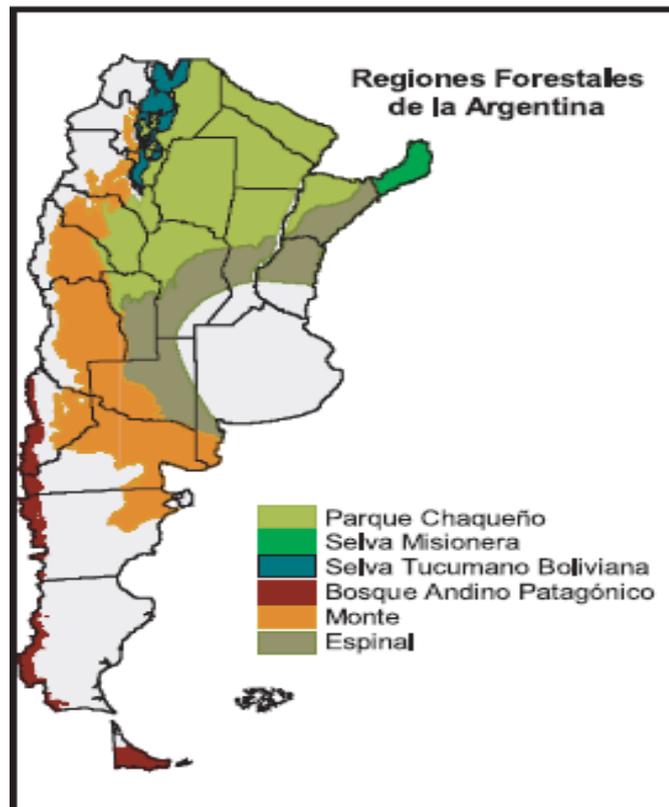


**Figura 2.** Red hidrográfica de las “provincias pampeanas” donde se indican regiones con suelos afectados por fenómenos de salinidad-sodicidad-hidromorfismo (Taboada y Lavado, 2009).

En la provincia de Córdoba, la superficie ocupada por suelos sódicos es de más de 2.800.000 ha, manifestándose esta limitante a distintas profundidades. En el Departamento San Martín existen 93.000 ha de suelos con afectación sódica, siendo el 59% con acumulación de sodio entre 25 y 50 cm (INTA, 1993).

### **Vegetación Originaria**

En la República Argentina existen 6 regiones forestales (Figura 3); la región forestal del Espinal se ubica entre los 28° y los 40° de Latitud Sur, como un gran arco que envuelve por el oeste al Pastizal Pampeano y que se ubica al sur del Parque Chaqueño, involucrando áreas de las provincias de Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, San Luis, La Pampa y Buenos Aires (Dirección de bosques, Secretaría de ambiente y desarrollo, 2003).



**Figura 3.** Regiones Forestales de la Argentina (SAYDSN. Dirección de bosques, 2003)

La región forestal del Espinal es un bosque xerófilo con predominio de especies del género *Prosopis* y otras especies de origen chaqueño, con excepción del quebracho colorado (*Schinopsis balansae*). Los árboles son de porte más bajo y distribución más esparcida que en el Parque Chaqueño, razón por la cual se lo considera un “Chaco empobrecido”. Es un bosque abierto, con uno o dos estratos arbóreos de menos de diez metros de altura, un estrato arbustivo y otro herbáceo. Alternan con los bosques, los palmares, las sabanas y las estepas de gramíneas. Según la especie arbórea dominante se distinguen tres subregiones: más al norte la del ñandubay, en el centro la del algarrobo y al sur la del caldén (Dirección de bosques, Secretaria de ambiente y desarrollo, 2003)

La Subregión del Algarrobo, abarca las llanuras del centro de Córdoba, parte de Santa Fe hasta la mitad norte de San Luis. La comunidad clímax es el bosque de algarrobo negro (*Prosopis nigra*) y el de algarrobo blanco (*Prosopis alba*), mezclados con el chañar (*Geoffroea decorticans*), y el tala (*Celtis tala*), entre otros (Dirección de bosques, Secretaria de ambiente y desarrollo, 2003).

El este de la provincia de Córdoba (Figura 4), se encontraba cubierto por grandes extensiones de bosques pertenecientes al Espinal Periéstépico. Al expandirse el área agrícola hacia el oeste, la mayor parte de estos bosques desaparecieron como resultado del desmonte. Sin embargo, todavía se observan numerosos relictos (Lewis *et al.*, 2014).



**Figura 4.** Mapa de la Región del Espinal en la provincia de Córdoba (SAyDSN, 2014)

Bonadeo *et al.* (2013) identificó en la situación de “monte” del este de Córdoba, distintas especies arbóreas como *Prosopis* spp., de hasta 100 años asociados a talas (*Celtis tala*), con gramíneas y en los sectores “sin árbol” se identificaron gramíneas que se desarrollan en suelos con elevados contenidos de humedad, como *Paspalum* spp. lo que se asociaría a la baja permeabilidad de estos suelos. Las raíces de *Prosopis* spp., pueden llegar a ser muy profundas (Karling *et al.* 1997), con bifurcaciones cerca de la superficie para absorber agua de lluvia y con acceso al freático, mientras que las de gramíneas estarían desconectadas del freático (Nuñez, 2013; Comunicación personal)<sup>1</sup>.

### **Influencia del Nivel Freático y de los Cambios de Vegetación en los Suelos**

Las napas freáticas son cuerpos subterráneos de agua que circulan en forma lenta respondiendo a gradientes de pendiente, y las variaciones de profundidad en el espacio y el tiempo son consecuencias de las características topográficas del sitio y del equilibrio entre recargas y descargas. La principal fuente de recarga es la precipitación, mientras que la

---

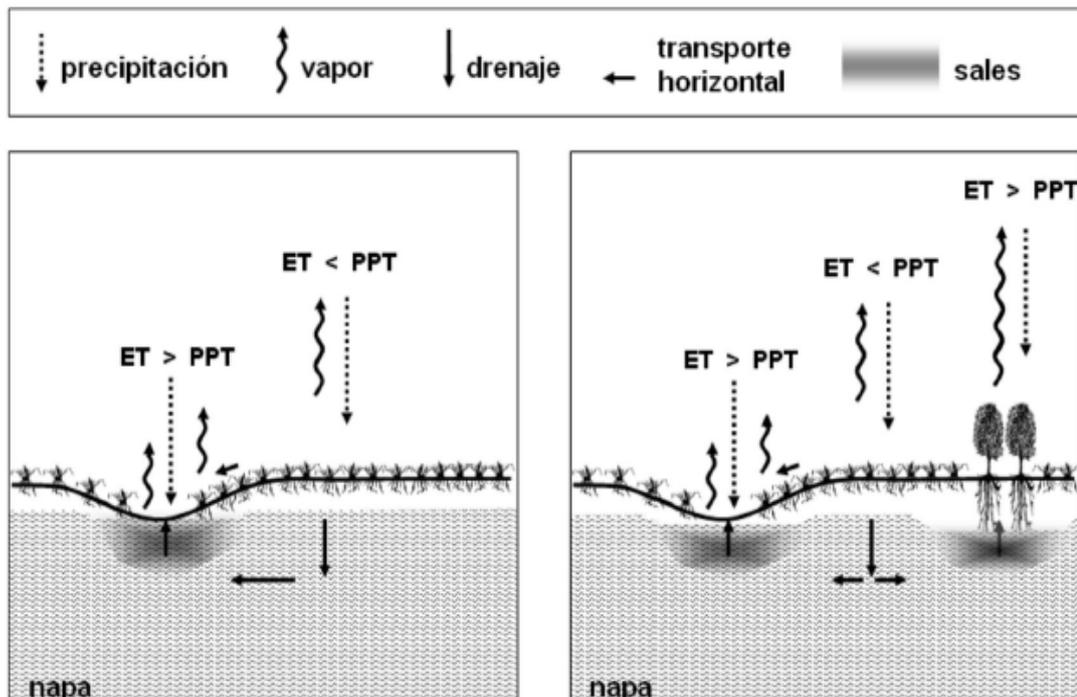
<sup>1</sup>MSc Cesar Nuñez. Investigador y profesor asociado de Botánica Sistemática Agrícola, de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

descarga se produce principalmente en respuesta a las demandas de evapotranspiración de la atmósfera y secundariamente al escurrimiento subterráneo (Cisneros *et al.*, 2007).

Las oscilaciones del sistema freático pueden afectar de diferente manera el uso y manejo de los suelos ya que pueden observarse distintas situaciones tales como; napas que se presentan a poca profundidad y que pueden resultar en un beneficio, incrementando la producción o un gran perjuicio, ya que puede afectarla, degradando el ambiente en general. Esto ocurriría con una freática salina que asciende por un balance hídrico positivo, produciendo anegamiento y transformándose en una fuente de sales y sodio para el perfil (Machiavello y Sueiro, 2012 a).

Según Jobbágy *et al.* (2008) en condiciones naturales, en la región del Río de la Plata, el balance hídrico del paisaje es positivo, es decir, la evapotranspiración (ET) es inferior a la totalidad de agua aportada por precipitación (PPT). Los excesos hídricos generan niveles freáticos elevados expuestos a la superficie en las zonas más bajas del paisaje. Estos sectores evacúan el excedente hídrico a partir de la evaporación directa de espejos de agua y el consumo de agua subterránea de la vegetación de los humedales circundantes. Las sales del paisaje son transportadas hacia los bajos en donde se acumulan. La presencia de forestación (Figura 5) genera un foco de mayor demanda de agua que es abastecida por la contribución freática. Se genera de esta forma un sector funcionalmente equivalente al área baja en donde se acumulan las sales.

Los bosques y las plantaciones forestales tienen mayor capacidad transpirativa que los pastizales y los cultivos herbáceos. Ello está dado por sus mayores superficies foliares, por la rugosidad de los canopeos, y por sus sistemas radicales, generalmente más profundos. Estos bosques utilizan exhaustivamente la precipitación, reducen de forma drástica la recarga del nivel freático, son capaces de acumular, a lo largo de milenios, sales de origen atmosférico y derivadas de la meteorización en los suelos, y mantienen niveles freáticos profundos y provocan salinización en los suelos. Cuando son reemplazados por cultivos de secano se caracterizan por la salinización de las aguas subterráneas (Jobbágy *et al.*, 2008).

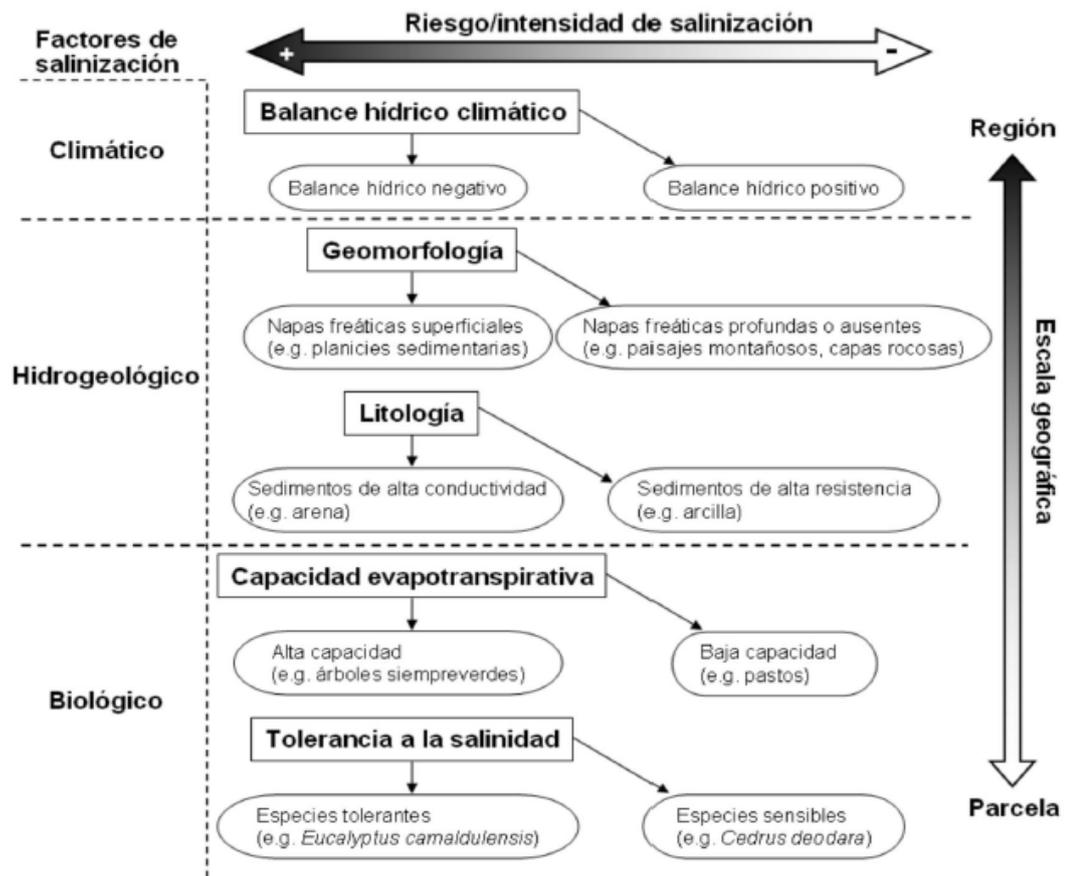


**Figura 5.** Balance hidrológico y acumulación de sales en pastizales subhúmedos y modificaciones asociadas al establecimiento de forestación (Jobbagy *et al.*, 2008).

Los árboles presentan mayor capacidad transpirativa que los pastos; cuando esta mayor capacidad se expresa a expensas del consumo de agua subterránea, el establecimiento de árboles sobre pastizales puede ocasionar la salinización de suelos, zonas saturadas y acuíferos (Heuperman, 1999; Jobbágy y Jackson, 2004), y comprometer la sustentabilidad del propio sistema forestal.

Dentro del hidromorfismo, el anegamiento es el proceso de saturación con agua del perfil por efecto del ascenso del nivel freático, generando además salinización-sodificación, condiciones de falta de oxígeno para las raíces, y falta de estabilidad para el tránsito. Es un proceso de recarga rápida de la freática, en especial por precipitaciones, y es el principal problema en términos económicos, ya que puede afectar tierras de alta productividad (Cisneros *et al.*, 2007).

En la Figura 6 se muestra un modelo jerárquico propuesto por Jobbagy *et al.* (2008), en donde se observa los factores que favorecen el proceso de salinización de suelos.



**Figura 6.** Modelo jerárquico de condiciones que favorecen el proceso de salinización por cambios de vegetación (Jobbagy *et al.*, 2008).

Los cambios de vegetación y, en particular, las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos, pueden alterar de manera significativa el balance de agua y el flujo de sales de los ecosistemas. Los bosques y las plantaciones forestales tienen mayor capacidad transpirativa que los pastizales y los cultivos herbáceos (Jobbagy *et al.*, 2008). Por lo tanto, de lo anterior expuesto la salinización puede ocurrir cuando las precipitaciones no son suficientes para satisfacer las necesidades de la vegetación y el agua subterránea tiene el potencial para suplir este déficit, lo que sucede a tasas más rápidas cuando el balance hídrico es más negativo y el agua subterránea más salada (Schofield *et al.*, 2001).

### **Definiciones: Suelos Sódicos**

En general se considera que los suelos alcalinos o sódicos son aquellos que contienen suficiente cantidad de sodio intercambiable como para afectar el crecimiento de la mayoría de las plantas cultivables, se encuentren o no presentes apreciables cantidades de sales solubles (FAO, 1985). Los suelos sódicos se caracterizan por presentar porcentajes de sodio intercambiable (PSI) > 15 o relaciones de adsorción de sodio (RAS) > 13 ( $\text{mmol l}^{-1}$ ) y

conductividades eléctricas en el extracto de saturación (CE)  $< 4,0 \text{ dS m}^{-1}$  (Salinity laboratory staff.1954; Soil Survey Staff, 1999). El exceso de sodio intercambiable tiene un efecto adverso sobre las propiedades físicas y nutricionales de los suelos, con la consiguiente reducción en el crecimiento de los cultivos, de manera significativa o totalmente.

Los Solonetz también conocidos como suelos sódicos son suelos con un horizonte subsuperficial arcilloso, denso, fuertemente estructurado, que tiene una proporción alta de iones Na y/o Mg adsorbidos (IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007 a). Los Solonetz que tienen  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  libre son fuertemente alcalinos (pH de campo  $> 8.5$ ).

Los materiales parentales u originarios son no consolidados, principalmente sedimentos de textura fina. El ambiente en donde estos se desarrollan está normalmente asociados con tierras planas con un clima con veranos secos y calurosos, o con (antiguos) depósitos costeros que contienen alta proporción de iones Na. Las mayores concentraciones de Solonetz están en pastizales planos o suavemente inclinados, francos o arcillosos (generalmente derivados de loess) en regiones semiáridas templadas y subtropicales. La descripción típica de un perfil sería la siguiente: Suelo superficial negro o pardo sobre un horizonte nátrico con elementos estructurales columnares fuertes con la parte superior redondeada. Los Solonetz bien desarrollados pueden tener un horizonte eluvial álbico (incipiente) directamente sobre el horizonte nátrico. Debajo del horizonte nátrico puede haber un horizonte cálcico o un horizonte gípsico. Muchos Solonetz tienen un pH de campo de alrededor de 8.5, indicativo de la presencia de carbonato de sodio libre (IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007 b).

A nivel mundial, los Solonetz cubren más de unas 135 millones ha. Las principales áreas de Solonetz se encuentran en Ucrania, Federación Rusa, Kazajistán, Hungría, Bulgaria, Rumania, China, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Sudáfrica, Argentina y Australia (IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007 c).

### **Relación del Sodio con el pH**

El pH de las pastas de saturación de los suelos sódicos es generalmente de 8,2 o más, y en casos extremos puede estar por encima de 10,5 dependiendo del tipo de sales que se encuentren presente en la solución del suelo. La presencia de  $\text{CaCO}_3$  y de  $\text{MgCO}_3$ , tiende a producir un pH en suelos no superiores a 8,0 - 8.2. Los suelos que contienen cantidades mensurables de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , tienen un pH de más de 8,2; el pH aumenta con el aumento de cantidades de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , y puede ser tan alta como 10,0 a 10,5. Esto es debido a la mayor solubilidad de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y por lo tanto el mayor potencial de hidrólisis alcalina.

Dado que los suelos de regiones áridas y semi-áridas casi siempre contienen algo de  $\text{CaCO}_3$ , una acumulación del sodio intercambiable en ausencia de una apreciable cantidad de

sales solubles neutras siempre da como resultado un pH elevado, el valor exacto depende de la concentración de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , formado o el nivel de PSI (FAO.1988).

No siempre los suelos sódicos poseen pH elevados ya que Rengasamy (1997) menciona la existencia de suelos sódicos neutros y ácidos, aunque aclara que estos últimos son poco frecuentes.

### **Problemática de Suelos Sódicos**

El crecimiento de las plantas se ve afectado negativamente en suelos sódicos debido a uno o más de los siguientes factores:

#### ***Efectos del sodio sobre las propiedades físicas del suelo:***

El exceso de sodio intercambiable en suelos sódicos tiene una marcada influencia en las propiedades físicas del suelo. Como aumenta la proporción de sodio intercambiable, el suelo tiende a estar más disperso produciendo el desgaste de los agregados y disminuyendo la permeabilidad del aire y agua. Esto también predispone al suelo a la formación de costras y superficies impermeables densas que impiden la germinación de las plantas. La dispersión de las arcillas y la consiguiente destrucción de los agregados alteran su estructura de tal modo que los hace muy compactos y poco porosos, por lo que terminan siendo altamente impermeables al agua, entorpeciendo a su vez la penetración en profundidad de los sistemas radiculares de las plantas.

En estos suelos se generan grietas por deshidratación que son de 1-2 cm de diámetro y varios centímetros de profundidad que cuando se humedecen pasan a ser más estrechas buscándose cerrar. Las grietas, por lo general, aparecen en el mismo lugar en la superficie cada vez que se seca el suelo a menos que haya sido alterado mecánicamente.

#### ***Efecto del sodio sobre la disponibilidad de nutrientes:***

Un segundo efecto del exceso de sodio intercambiable en el crecimiento de la planta es a través de su efecto sobre el pH del suelo. Aunque el elevado pH de los suelos sódicos no tiene ningún efecto adverso directo sobre el crecimiento de plantas en sí, con frecuencia resulta en la reducción de la disponibilidad de algunos nutrientes esenciales para las plantas. Por ejemplo, la concentración de los elementos calcio y magnesio en la solución del suelo se reduce a medida que aumenta el pH debido a la precipitación de calcio y carbonatos de magnesio por reacción con carbonatos solubles de sodio. Del mismo modo, la solubilidad en los suelos y disponibilidad para las plantas de varios micronutrientes esenciales, por ejemplo, Fe, Mn Cu y Zn, son propensos a ser afectados.

Si el pH del suelo es alcalino como consecuencia de la presencia del ion  $\text{Ca}^{++}$  pueden formarse fosfatos tricálcicos que son sales insolubles y generan indisponibilidad de P para las plantas (Navarro, 2003), aunque si la alcalinidad del suelo es consecuencia del ion  $\text{Na}^+$  pueden formarse fosfatos sódicos que generan mayor disponibilidad de P para las plantas dada la mayor solubilidad de esta última sal mencionada.

***Efecto del sodio sobre las plantas (fitotoxicidad):***

La acumulación de ciertos elementos en las plantas a niveles tóxicos puede causarle daños o reducir su crecimiento e incluso provocar la muerte (efectos específicos de iones). Elementos tóxicos comúnmente encontrados en suelos sódicos incluyen sodio, molibdeno y boro (FAO, 1988).

**Evaluación de la Sodicidad en Suelos**

Las determinaciones analíticas permiten cuantificar la limitación ocasionada por la alcalinidad sódica. La medida más expeditiva es: pH, superior a 8,2 indica sin lugar a duda niveles de sodio que restringen la productividad de los cultivos no adaptados, aunque también hay sódicos neutros y ácidos, es decir si el pH es 9 el suelo es sódico aunque si el pH es 8 puede también serlo. El nivel de sodio de un suelo se mide a través del:

Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I):

$$\text{P.S.I.} = \frac{\text{Na}^+}{\text{CIC}} \cdot 100$$

P.S.I.= Porcentaje de sodio intercambiable.

$\text{Na}^+$ = Sodio intercambiable (meq/100gr de suelo).

CIC= Capacidad de intercambio catiónico (meq/100gr de suelo).

El valor de 15% de sodio intercambiable es ampliamente aceptado como límite entre suelos alcalinos y no alcalinos.

El grado de sodicidad de un suelo también se mide a través del RAS (relación de adsorción de sodio)

$$\text{R.A.S.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}}$$

Donde  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$ , corresponden al extracto de saturación expresados en meq/l.

Valores superiores de 10 a 12 en la solución del suelo deben considerarse como umbrales de sodicidad en los suelos (Richards, 1973 a).

## Reacción y Conductividad Eléctrica de los Suelos Sódicos y Salinos Sódicos

La reacción del suelo es una propiedad importante ya que tiene influencia sobre características físicas, físico-químicas, químicas y biológicas de los suelos y por otra parte es una consecuencia de las mismas (Porta Casanellas et al., 2003 a).

La adición de sales al suelo puede resultar en saturación del complejo de cambio con sodio. La sodificación no necesariamente produce un aumento del pH del suelo. Muchos suelos sódicos son de reacción neutra cuando el anión acompañante es cloruro (Rengasamy et al., 1984 a).

La reacción fuertemente alcalina de la mayoría de los suelos sódicos es causada por alcalinización, esto es debida a la hidrólisis de iones sodio o compuestos de carbonato de sodio (Porta Casanellas et al., 2003 b).



Los iones hidroxilos producidos incrementarán el pH del suelo, mientras el sodio está saturando el complejo de cambio. Esto último puede llevar a la hidrólisis lo cual también contribuye a incrementar la concentración de hidroxilos en el suelo.



La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. La cantidad de sales solubles de una muestra de suelo se puede estimar a través de la CE de un extracto de pasta saturada, o en una suspensión suelo-agua, ya que existe una relación directa entre la actividad de los iones de la solución y la CE del extracto (Richards, 1973 b).

## Variabilidad Espacial de Suelos Sódicos, su Cuantificación y Utilidad

Los suelos presentan a lo largo del paisaje una gran variabilidad natural que es resultante de la interacción de los diversos factores de formación, implicados en el proceso de meteorización. Esta situación de heterogeneidad del suelo es responsable de la variación espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Considerando que esta variabilidad tiene que ser consideradas en los procesos de producción agrícola, en los últimos años la llamada agricultura de precisión se ha desarrollado mucho (Johann et al., 2004).

Una característica dominante de los suelos es su heterogeneidad espacial, aún en pequeñas áreas que podrían considerarse como homogéneas. Esta heterogeneidad induce una variabilidad en las propiedades del suelo que puede llegar a ser de considerable magnitud. La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo debido a su

génesis y al manejo que se realice, siendo en general las propiedades químicas más variables que las físicas (Jaramillo, 2002).

La heterogeneidad o variabilidad espacial es una característica relevante en los suelos sódicos, que se manifiesta a través del crecimiento de los cultivos en “parches” o “manchones” que se corresponden con sectores de escaso desarrollo, mientras que el resto del cultivo tiene apariencia “normal”, esta distribución irregular de los síntomas se asocia principalmente a la heterogeneidad en la acumulación de sodio (Rengasamy, 1997). La presencia de “manchoneo” es muy frecuente en el centro-este de la provincia de Córdoba, definidos por Bonadeo *et al.*, (2006) como porciones definidas del terreno, de forma irregular, con límites abruptos y tamaño variable donde la densidad de plantas es menor y tienen menor altura, lo que facilita el avance de malezas gramíneas adaptadas y reduce la producción.

Según Jarsun (2008) el fenómeno de “manchoneo” de cultivos típico de Córdoba ocurre en los suelos de los sectores planos o ligeramente deprimidos que son similares a los de los sectores más altos, pero con la presencia de elevados contenidos de sales y/o sodio a diferentes profundidades. Hampp *et al.*, (2004), profundizaron sobre el origen y la distribución de los manchones en el terreno, concluyendo que estas superficies “manchoneadas” obedecen a procesos genéticos antiguos, donde la vegetación afectó la dinámica de sales.

El abordaje de la variabilidad espacial de propiedades de los suelos puede realizarse mediante la geoestadística que utiliza frecuentemente el "krigeado" como herramienta de interpolación en aquellos lugares donde no se conoce la magnitud del atributo investigado. Con la información procedente de la estimación se pueden realizar mapas sobre la distribución de la variable en el área experimental. Aunque la geoestadística ha supuesto una mejora considerable en la representación gráfica, para conseguir unos buenos resultados, es preciso conocer sus fundamentos y las asunciones sobre las que se basa (Mantovani *et al.*, 2006).

La diferencia básica entre la estadística clásica y la geoestadística consiste en que la primera requiere valores de las muestras sin considerar su posición espacial, siendo necesario en el caso de la segunda el conocimiento de su posición espacial, al considerar que las muestras se encuentran correlacionadas (dependientes) en el espacio (Sturaro, 1993). El análisis de la variabilidad espacial del suelo por medio de la geoestadística puede indicar alternativas de manejo que favorezcan la disminución de los efectos de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre los cultivos.

El conocimiento de la variabilidad espacial del suelo, aparte de mejorar el conocimiento que se adquiere sobre él cuando se establece, tiene varias aplicaciones prácticas como:

- Elaborar mapas de propiedades del suelo por procesos de interpolación.
- Hacer control de calidad de mapas de suelos.
- Definir el tamaño y la ubicación de unidades experimentales.
- Mejorar los sistemas de muestreo de suelos.
- Mejorar la interpretación de resultados de investigación.
- Ayudar en el manejo intensivo de los suelos.

## **HIPÓTESIS**

En el centro este de Córdoba, existen suelos salinos sódicos bajo vegetación de monte ralo, en el que se observan situaciones de isletas de “árboles” e isletas de “gramíneas”. En estas situaciones el contenido de sales y sodio del suelo es mayor bajo “árboles” que bajo “gramíneas”. La quita del monte y la posterior agriculturización de estos suelos (caracterizados por el fenómeno de manchoneo donde se diferencian las situaciones “manchón” y “normal”) producen cambios en los perfiles de salinidad y sodicidad debido a la variación en el balance hídrico de los suelos. Por lo tanto se plantea que la quita del árbol produce disminuciones del contenido salino del suelo y variación del contenido de sodio de intercambio, que se correspondería con la situación “manchón” del suelo bajo agricultura y que en la quita de las “gramíneas” ocurriría algo similar que se correspondería con la situación “normal” en agricultura.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la quita del monte sobre la salinidad y sodicidad de suelos salinos sódicos del centro-este de Córdoba con énfasis en la distribución espacial.

### **Objetivos Específicos**

-Evaluar el contenido de sales y sodio, mediante los indicadores CE y pH en la situación de monte considerando “árboles” y “gramíneas”.

-Determinar la variabilidad espacial de salinidad y sodicidad (CE y pH) en el monte, considerando las situaciones “árboles” y “gramíneas”.

-Evaluar el contenido de sales y sodio, mediante los indicadores CE y pH en la situación de agricultura considerando “manchón” y “normal”.

-Determinar la variabilidad espacial de salinidad y sodicidad (CE y pH) en agricultura, considerando las situaciones “manchón” y “normal”.

-Determinar si existen relaciones entre los indicadores evaluados para las situaciones “árbol” – “manchón” y gramíneas– “normal”.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización del Área Experimental:

#### Ubicación del área experimental

El estudio se llevó a cabo en la estancia “El Tigre”, un área que contempla las situaciones de monte y agricultura bajo un mismo suelo la cual tiene como coordenadas centrales: latitud  $32^{\circ} 8'44.37''S$  y longitud  $63^{\circ}15'20.32''O$ , al NO de la localidad de Arroyo Algodón departamento San Martín provincia de Córdoba. La misma puede ser observada en la Figura 7.



**Figura 7.** Localización Estancia El Tigre, Arroyo Algodón (Google Earth, 2014)

### ***Geomorfología –Relieve***

El área experimental donde se realizó la experiencia se encuentra ubicada dentro de la gran unidad fisiográfica denominada Pampa Loessica Plana en la parte central este de la provincia de Córdoba. Dentro de esta unidad, se encuentra el ambiente denominado Derrames del Río Tercero. Los mismos se han encauzado desde el oeste por las depresiones profundizándolas y depositando materiales o suavizándolas más hacia el este. Estas depresiones por donde se encauzaron los numerosos brazos del Río Tercero son coincidentes generalmente con el diseño estructural de bajos alargados de la antigua llanura eólica. El desarrollo de estas redes fluviales propias de la zona donde se realizará la investigación data del último periodo húmedo Cuaternario (Platense). Este período donde la corriente fluvial ha sido más o menos permanente ha traído como consecuencia la formación de paleocauces generalmente meandriformes, terrazas, albardones y llanuras de inundación (Bonalumi *et al.*, 2005). Donde las corrientes fueron menos permanentes, dominan cauces esfumados y derrames tipo lóbulos. Los suelos desarrollados sobre estos ambientes son arenosos no alcalinos en las partes altas de los albardones; alcalinos y salinos en las antiguas llanuras de inundación y por último en las terrazas dominan suelos hidromórficos. Ello da lugar a un intrincado patrón de suelos del área a investigar con elevada variabilidad en el espacio.

### ***Vegetación originaria***

Con respecto a la vegetación presente en el área de estudio, indica que los escasos fragmentos de bosques que aún persisten están dominados por algarrobos blancos (*Prosopis alba*) de aproximadamente 80 a 200 años de edad, a quien acompañan otras especies arbóreas como tala (*Celtis tala*), peje o sombra de toro (*Jodina rhombifolia*) y chañar (*Geoffroea decorticans*), entre otras (INTA, 1987). Estos últimos, constituyen los bosques característicos del Espinal peripampásico, aunque las manifestaciones que se ve en la actualidad corresponden a bosques secundarios, que han sufrido en el pasado el efecto de las actividades humanas (INTA, 1987). El monte seleccionado se corresponde con una región de ecotono o transición donde alternan especies arbóreas con estratos gramíneo por lo que posee la característica de ralo o abierto. Es un monte muy bien conservado ya que los montes degradados se reconocen por el avance de los arbustos y los pocos pastos, y no había indicios de quema pero se ve intervenido por actividades antrópicas en el último tiempo (Núñez, 2012; Comunicación personal)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> MSc Cesar Núñez. Investigador y profesor asociado de Botánica Sistemática Agrícola, de la Universidad Nacional de Río Cuarto



**Figura 8.** Algarrobo añejo representativo (Milán, 2012; comunicación personal)<sup>3</sup>

### ***Clima, balance hidrológico y suelo***

El régimen térmico de la región caracteriza al clima como templado, sin gran amplitud térmica anual. La fecha media de comienzo de heladas es el 26 de mayo extendiéndose hasta el 9 de noviembre. Estas fechas varían anticipándose o retrasando en unos 20 días aproximadamente. De acuerdo a las fechas anteriores del periodo medio libre de heladas es de 258 días con el grado de variabilidad ya mencionado (INTA, 1991).

La precipitación anual media del área es de 733 mm con una máxima de 995mm y una mínima de 462mm, siendo marzo el mes más lluvioso y junio el mes más seco. Respecto a la distribución estacional de las precipitaciones, el trimestre invernal (junio, julio y agosto) es netamente seco y el verano la estación más lluviosa, por lo tanto se insinúa un régimen monzónico (INTA., 1991).

Con respecto al balance hidrológico en la zona existe un desequilibrio hídrico entre la demanda de agua (evapotranspiración potencial) y los aportes del suelo y la precipitación (110 mm de déficit anual) registrando el trimestre estival los valores máximos de deficiencia (78 mm) a pesar de que concentra el grueso de las precipitaciones (INTA., 1991).

El déficit hídrico está presente casi todo el año con excepción de los meses de marzo, abril, julio y octubre. El agua total almacenada se mantiene en valores muy bajos y muy alejados de la capacidad máxima planteada. La recarga hídrica del perfil más definida se observa solo en el mes de octubre. Se lo clasifica como Subhúmedo seco (INTA, 1991).

Los suelos pertenecientes a la situación a estudiar corresponden al complejo indeterminado Pampayasta (INTA, 1991), por lo que no se encuentran los datos analíticos en

---

<sup>3</sup> Ing. Agr. Cecilia Milán. Docente e Investigadora de la Universidad Nacional de Villa María.

<sup>4</sup> MSc Cesar Núñez. Profesor e Investigador, Universidad Nacional de Río Cuarto.

la Carta de Suelos correspondiente. Por ello, se realizó una caracterización morfológica que permitió efectuar la diferenciación de los suelos que componen el complejo y seleccionar el suelo sódico dominante de la región.

### Caracterización de los Suelos en Cada Sitio en Estudio

Para la descripción de las calicatas se utilizaron las normas de Etchehevere (1976). Las Tablas 1 y 2 constan de una descripción morfológica del suelo bajo la situación de monte.

**Tabla 1.** Situación de baja intervención antrópica, monte árbol (MA).

Situación	Prof. (cm)	Horiz.	Textura	Estructura	Limite	Barnices	Observaciones
MA	0-6,5	A1	Fr-limoso	Granular	Abrupto ondulado		Abundante mantillo, muchas raíces, restos de hojas
	6,5-29	A2	Fr-limoso	Bloques subangulares grandes débiles	Claro Ondulado		
	29-41	Bt1	Fr-limoso	Bloques Subangulares medios moderados	Claro Suave	escasos	
	41-54	Bt2	Franco arcillo limoso	Prismas irregulares medios moderados	Claro suave	Húmico arcillosos abundantes	Agregados manchados (por coloide orgánico disuelto)
	54-70	BC	Fr-limoso	Prismas irregulares rompen en bloques subangulares	Claro suave		A partir de los 60 cm reacción de Carbonatos
	+70	C	Fr-limoso	masiva	Abrupto ondulado		Abundante calcáreo libre en la masa

**Tabla 2.** Situación de baja intervención antrópica, monte gramíneas (MG).

Situación	Prof. (cm)	Horiz.	Textura	Estructura	Limite	Barnices	Observaciones
MG	0 – 30	A	Fr-limoso	Granular y Bloques subangulares	Abrupto Ondulado		
	30-41	Bt1	Fr-limoso	Prismas irregulares que rompen a bloques	Abrupto suave	escasos	
	41-60	Bt2	Fr-limoso	Bloques y Prismas medios moderados	Gradual Suave	escasos	Presencia de carbonatos libres en la masa
	+60	C	Fr-limoso				Debajo de los 70 cm se observan concreciones

En la Tabla 1 y 2 se observa para la situación monte, predominio de textura franco-limosa en la mayoría de los horizontes. En lo que respecta a la estructura, es variable a lo largo del perfil, presentando en superficie buenas condiciones las cuales van en detrimento a medida que se profundiza, caracterizándose por presencia de bloques subangulares y prismas, alcanzando una estructura masiva en la mayor profundidad.

Se encontró presencia de carbonatos a partir de los 60 cm para la situación con árbol (Tabla 1), mayor diferenciación de horizontes y contraste de colores, que en la situación con gramíneas (Tabla 2), donde la reacción con el HCl comenzó a los 40 cm debido a la presencia de carbonatos.

Las Tabla 3 y 4 muestran una descripción morfológica de los suelos bajo la situación de agricultura, la cual se caracterizó por presentar estructura en bloque subangulares y prismas, encontrando en la profundidad estructura masiva y presencia de carbonatos a partir de los 40 cm.

**Tabla 3.** Propiedades morfológicas de la situación agricultura normal (AN).

Situación	Prof. (cm)	Horiz.	Textura	Estructura	Limite	Barnices	Observaciones
AN	0-18	A	Fr-limoso	Bloques subangulares finos débiles	Abrupto Suave		
	18-28	Btn1	Fr-limoso	Prismas irregulares débiles	Claro suave	Escasos	Barnices Color pardo
	28-45	Btn2	Fr-limoso	Prismas irregulares medios moderados	Claro suave	Escasos	Concreciones de carbonato
	45-72	BC	Fr-limoso	Bloques subangulares medios moderados			Presencia de carbonatos libres en la masa
	72 a +	C	Fr-limoso	Masiva			

La textura, en general para todos los suelos fue franco limosa; incluso hasta en profundidad.

Los horizontes tienen valores semejantes, diferenciando situaciones con características “normales”, con valores de pH y CE menor, a mayor profundidad; mientras que en situaciones con síntomas evidentes de deficiencias en productividad, zonas con “manchones”, que alcanzan valores más altos de pH y CE, donde los problemas aparecen cercanos a la superficie.

**Tabla 4.** Propiedades morfológicas de la situación agricultura manchón (AM).

Situación	Prof. (cm)	Horiz.	Textura	Estructura	Limite	Barnices	Observaciones
AM	0-18	A	Fr-limoso	Bloques subangulares			
	18-31	Btn1	Fr-limoso	Prismas irregulares medios fuertes	Abrupto suave	Abundantes húmico arcillosos	
	31-47	Btn2	Fr-arcillo limoso	Prismas irregulares débiles y bloques subangulares medios moderados	Claro suave	Escasos color pardo	Pequeñas concreciones de carbonato de calcio
	47- 65	BCK	Fr-limoso	Bloques subangulares medios moderados	Abrupto ondulado		Presencia de carbonatos libres en la masa
	65 a +	Ck	Fr-limoso	Masiva			Presencia de carbonatos libres en la masa

La Tabla 5 muestra los contenidos de materia orgánica en las diferentes situaciones. En monte, bajo el árbol en los primeros cm la misma corresponde a un valor de 7,24 % y 6,03% hasta los 18 cm, mientras que en los claros del monte (en gramíneas) disminuye entre el 42% y 58 % respectivamente. En las situaciones cultivadas la MO se reduce aún más, y en mayor medida en las zonas manchoneadas. En la situación agricultura el valor de la MO es de 2,66% en los primeros cm y 1,76% hasta los 18 cm de profundidad.

**Tabla 5.** Concentración (%) de materia orgánica de calicatas en las distintas situaciones

Prof.(cm)	MO (%)				
	MA	MG	Agricultura	AN*	AM*
<b>0 - 18 cm</b>	7,24	3,04	2,66	2,42	2,47
<b>18 - 31 cm</b>	6,03	3,51	1,76	1	1,24
<b>31 - 47 cm</b>	4,19	2,5	1,30	0,58	0,75
<b>47 - 65 cm</b>	3,44	2,16	1,25	0,39	0,74
<b>+ de 65 cm</b>				0,39	0,54

\*Datos de las calicatas efectuadas en 2014

En resumen, se encontraron las mismas secuencias de horizonte con características similares en textura y propiedades en todas las calicatas, con algunas diferencias entre Monte (árbol y gramíneas) y agricultura (manchón y normal) como pequeñas diferencias en las

alturas de los horizontes y profundidad en la que aparecen los carbonatos (Tablas 1 a 4), considerándose como un mismo suelo en todos los sitios.

A partir de esta descripción de los sitios de estudio se determinaron las profundidades de muestreo:

- Profundidad “A”: 0-15cm
- Profundidad “B”: 15-23cm
- Profundidad “C”: 23-41cm
- Profundidad “D”: 41-61cm

### Caracterización de Napa Freática

#### *Análisis químico*

La Tabla 6 consta de la composición química de la napa freática. Esta presentó contenidos altos de sales bicarbonatadas, con valores de pH similares en los distintos sectores, se observó leve aumento del contenido de estas sales en la situación monte (Tabla 6).

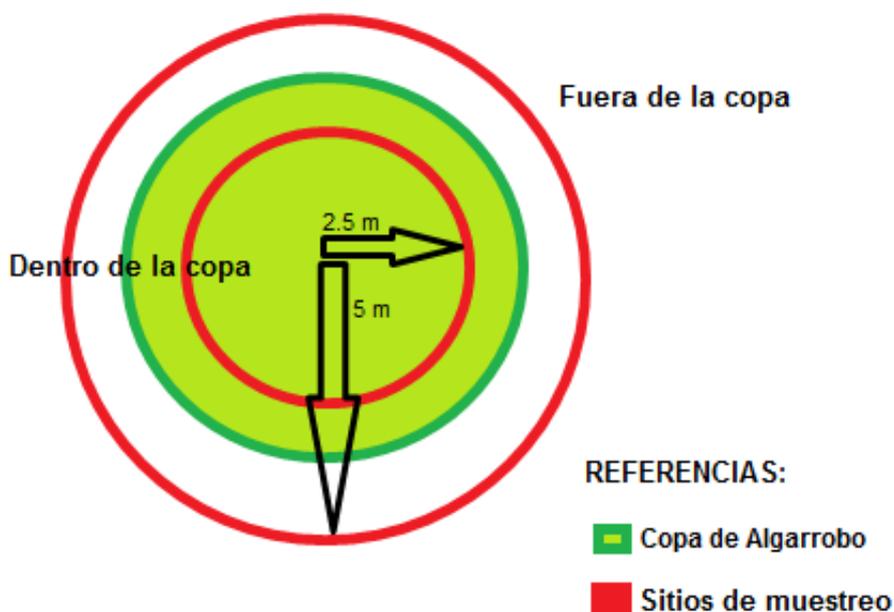
**Tabla 6.** Análisis químico de agua de napa.

DESCRIPCIÓN	MONTE ÁRBOL	AGRICULTURA
pH	8,18	8,39
CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,47	1,15
Cl <sup>-</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	34,77	42,58
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	71,05	43,7
Dureza (mg l <sup>-1</sup> )	55,45	20,3
Alcalinidad (mg l <sup>-1</sup> )	788,08	591,74
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	95,03	71,42
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	693,16	520,32
Ca <sup>++</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	12,52	3,3
Mg <sup>++</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	5,89	2,93
Na <sup>+</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	340,36	421,5
K <sup>+</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	28,3	17,48
RAS	19,72	40,52
CSR (meq l <sup>-1</sup> )	13,41	10,5
PSS (%)	88,34	94,67
Sales totales (mg l <sup>-1</sup> )	1208,08	1123,23
Profundidad*	3.63	3.27

\*promedio tomado de cuatro mediciones en dos años

### Caracterización de Suelo Bajo un Árbol Representativo

Se seleccionó un árbol representativo (Algarrobo) de la zona a evaluar; se midió el radio del mismo y se realizaron muestreos de suelo, bajo la copa y por fuera de la misma, en diferentes profundidades (Figura 9).

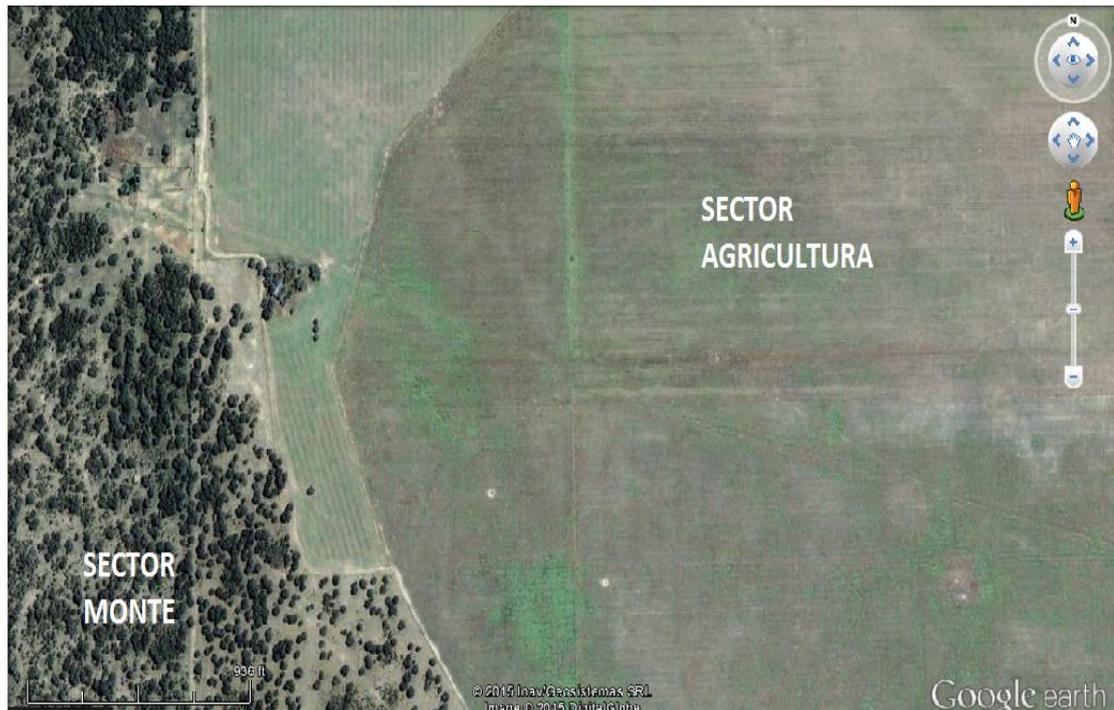


**Figura 9.** Muestreo en Algarrobo representativo.

El radio de la copa del árbol comprendió entre 6,90 a 8,80 m. Se llevaron a cabo 5 piques por muestra compuesta, en 4 profundidades (0-20; 20-40, 40-60 y 60-80 cm); bajo la copa del árbol en un radio de 2,5 m, y fuera de la copa en un radio de 5 m, desde el centro del mismo. Se determinó pH 1:2,5 y CE 1:1 para todas las muestras.

### Sitios Abordados

En el área con suelo sódico dominante se seleccionaron dos ambientes: monte y agricultura (Figura 10).



**Figura 10.** Imagen satelital del área de estudio (Google Earth, 2015)

A su vez cada una de ellas tuvo dos sitios de estudio.

- Monte: árbol (MA) y gramíneas (MG).
- Agricultura: normal (AN) y manchón (AM)

Para describir los suelos en cada ambiente se realizaron calicatas buscando lugares representativos de cada una. En el monte se realizaron dos calicatas, una en el claro correspondiente al estrato gramíneo (“gramíneas”) y otra bajo un árbol de algarrobo añejo, rodeado por talas y cercanos a chañares (asociación típica y repetitiva) correspondiente al estrato arbóreo (árbol). En el sector agrícola en el año 2014 se realizaron, con soja implantada, dos calicatas donde se pudieron diferenciar situaciones de “manchón” y “normal”. La diferenciación entre “manchón” y “normal” se llevó a cabo por interpretación de imágenes satelitales y en el momento del muestreo se corroboraron las situaciones de acuerdo al desarrollo del cultivo que se manifestaba el fenómeno de “manchoneo”

### Muestreo en Grilla No Alineado

En el monte sobre una superficie de 0.5 ha (50 m \* 100 m) se trazó una cuadrícula que contenía 50 casilleros de 100m<sup>2</sup> (figura 11). El lugar de muestreo dentro de cada casillero se seleccionaba de dos maneras: si el casillero era todo gramínea se muestreaba en el centro del mismo y si había árboles se seleccionaba el árbol de mayor tamaño y se muestreaba debajo del mismo (figura 12). Dentro de cada casillero se realizó una barrenada extrayendo muestras a cuatro profundidades, que se correspondieron con los horizontes A, y B. En la situación de agricultura se realizó un muestreo en grilla no alineado igual al realizado en la situación monte, pero dentro de cada casillero se seleccionaba el lugar de muestreo en función de la existencia de la condición “manchón” o “normal” (figura 13). También en cada casillero se realizó una barrenada tomando muestras a cuatro profundidades, que se correspondan con los horizontes el A y B.



**Figura 11:** Representación del sistema de muestreo en grilla no alineado (Google earth 2015).



**Figura 12:** Situaciones a muestrear “árboles” (izquierda) y “gramíneas” (derecha).



**Figura 13:** Situaciones a muestrear “manchón” (izquierda) y “normal” (derecha).

En la grilla 1 y 2 se muestran las diferentes zonas muestreadas, cada una identificadas con una fotografía que muestra los distintos sitios de estudio y su respectivas ubicaciones dentro de la grilla.

**Grilla 1- Monte: Zonas de muestreo “árbol” o “gramíneas”**



1	10	11	20A	21	30A	31	40A	41	50
2	9A	12A	19	22	29	32	39	42	49
3A	8	13	18	23	28	33	38	43	48A
4	7A	14A	17	24A	27	34	37A	44	47A
5	6	15A	16A	25A	26	35	36	45	46

Referencias:  
A: Árbol

Los casilleros sin letra corresponden a Gramíneas

**Grilla 2- Monte: Zonas de muestreo “manchón” o “normal”**



1	2	3	4M	5M	6M	7M	8M	9M	10
20	19	18	17	16	15	14M	13M	12	11
30	29	28	27M	26M	25M	24M	23	22	21M
31	32	33	34M	35M	36M	37M	38	39	40M
50	49M	48M	47	46	45	44M	43M	42M	41M

Referencias:  
M: Manchón

Los casilleros sin letras corresponden a normal

## **Determinaciones**

### ***pH actual***

El pH se determinó por potenciometría en una relación suelo-agua 1:2,5 (Klute, 1986).

Se considera al valor de pH como un indicador del contenido de sodio del suelo.

### ***Conductividad eléctrica***

La conductibilidad eléctrica (CE) con una relación suelo agua 1:1 se determinó por conductimetría Klute (1986). El resultado se expresa en  $\text{dS m}^{-1}$  (deciSiemen por metro).

## **Análisis Estadísticos**

### ***Estadística descriptiva***

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013) que proporcionó los principales momentos estadísticos: media, coeficiente de variación, valor máximo y valor mínimo para cada variable en estudio.

El análisis estadístico inicial permite describir la dispersión de los datos por medio de las medidas de posición (media, valor máximo y valor mínimo) y la variabilidad de los datos por medio de las medidas de dispersión (coeficiente de variación) de los datos. Las informaciones ofrecidas por las medidas de posición son importantes porque permiten inferir si en el conjunto de datos existe la presencia de datos anómalos, también llamados de valores extremos. Los valores extremos modifican la distribución de los datos. De acuerdo con Siqueira *et al.* (2008) las informaciones proporcionadas por las medidas de posición permiten describir si los datos pertenecen a la misma población. Así, las informaciones ofrecidas por las medidas de posición son complementadas por las medidas de dispersión. En este estudio, los valores de coeficiente de variación (CV, %) fueron utilizados para determinar la variabilidad de los datos según la clasificación de Warrick & Nielsen (1980):  $\text{CV} \leq 12\%$ , bajos;  $\text{CV} 12,00\text{-}60,00\%$ , medianos;  $\text{CV} \geq 60\%$ , elevados.

Para analizar cada una de las variables: CE, pH y establecer si existieron diferencias significativas, se realizó el análisis de varianza (ANAVA) aplicando el test LSD Fisher con un nivel de significación del 0,10% con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2013).

### ***Geoestadística***

En este trabajo se ha efectuado el análisis geoestadístico construyendo y modelando semivariogramas experimentales y determinando los valores para los puntos no muestreados

por medio de la técnica de interpolación por krigeado ordinario. Se realizaron los semivariogramas experimentales para cada variable y mediante validación cruzada se determinó el grado de ajuste de la interpolación utilizando el software SURFER 7.0 (Golden Software, 1999). Se determinaron los parámetros de los variogramas (pepita= Co, Sill= C + Co, y rango). Se caracterizó el grado de dependencia espacial de las variables analizadas en función de la proporción de variancia estructural (Robertson, 1998) y se utilizó un criterio similar al de Cambardella et al. (1994) para establecer el grado de dependencia espacial, fijando las clases como fuertes cuando la relación pepita/sill fue mayor o igual a 0.75, moderada para valores entre 0.25 y 0.75 y débil para valores inferiores a 0.25. Se seleccionaron los modelos con mayor  $r^2$ , efectuando la validación cruzada con los datos originales para determinar el grado de ajuste de la interpolación. De esta manera se escogió la combinación de los modelos de variogramas y el radio de entorno que generó el mayor  $r^2$  en la validación cruzada. A partir de esto se generaron mapas de isoclinas de profundidades para las variables y situaciones que mejor se ajustaron.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Análisis de Datos No Georreferenciados**

#### ***Conductividad eléctrica en monte y agricultura***

Con los datos obtenidos se llevó a cabo un análisis a través de la estadística descriptiva para todas las variables en estudio, con el fin de establecer el comportamiento, la dispersión, la tendencia y la distribución. En este estudio, los valores de coeficiente de variación (CV, %) fueron utilizados para determinar la variabilidad de los datos según la clasificación de Warrick & Nielsen (1980), que considera una variabilidad baja para CV menores del 12%, variabilidad media para CV entre 12 y 60% y variabilidad alta para valores mayores a 60%. La Tabla 7 muestra los estadísticos descriptivos: media, valor máximo, valor mínimo y coeficiente de variación de los valores de CE, en campo, los cuales dan una primera idea del comportamiento de los resultados obtenidos. Se observa que los valores medios de CE entre la situación monte y la situación agricultura, si bien no difieren notoriamente, son significativamente diferentes, mostrando de esta forma que los valores medios de CE del monte son más altos como para diferenciarse de los valores medios de agricultura. Estas diferencias pueden atribuirse a los distintos tipos de vegetación dominante de cada zona y su influencia sobre los datos obtenidos. Observando la tabla con más detalle se aprecia que los valores máximos más elevados de CE corresponden al monte y por lo tanto los CV en esta situación son mayores, representando de acuerdo a la clasificación de Warrick & Nielsen

(1980) valores elevados, en donde entra en juego el árbol como agente clave de regulación hidrológica y como acumulador de sales en los perfiles, motivo por el cual los valores se incrementan en el monte y son menores en Agricultura. Este comportamiento se ha observado en bosques secos de San Luis que muestran la existencia de una alta cantidad de sales (almacenadas bajo la vegetación natural) que se lixivia en parcelas agrícolas (Santoni et al.2008). Otra observación destacable es el menor CV de la situación de Agricultura, la cual indica que las diferencias entre los valores máximos y los valores mínimos encontrados son menores con respecto a la situación de monte. Esto puede atribuirse a que la eliminación de los árboles del bosque (donde se presentan los valores más extremos de CE) lleve a una homogeneización de los datos disminuyendo esas diferencias entre los valores encontrados. Una explicación lógica para estos resultados se basa en que al eliminar el árbol se quita la fuente de retroalimentación de sales de las napas profunda, con lo cual se da lugar a que las precipitaciones provoquen lavado y por lo tanto se determinen los menores valores encontrados en la situación agricultura. De esta manera y de acuerdo a Dahnke y Whitney (1988) se puede concluir que los valores máximos más altos de CE, correspondientes a la situación monte, coinciden con suelos ligeramente salinos, mientras que en agricultura los valores encontrados no llegan a ser suelos salinos. Por esta clasificación se dice que se pasa de una situación ligeramente salina en monte a una situación NO salina en Agricultura.

De los valores obtenidos de CE en Agricultura se observa que los niveles salinos que se detectaron no son lo suficientemente altos (Porta Casanellas et al., 1994) como para afectar el crecimiento de los cultivos de la zona como: maíz, alfalfa y soja, al menos hasta las profundidades evaluadas. Como la clasificación utilizada corresponde a valores obtenidos en extracto de saturación y los del presente trabajo a una relación suelo:agua 1:1 fueron convertidos por el factor 0.63 para suelos franco limosos Dahnke y Whitney (1988) y transformados a datos en extracto. Una vez que se obtuvieron estos datos en extracto se observó que ninguno de ellos supera el  $2dSm^{-1}$  umbral a partir del cual los cultivos comienzan a presentar dificultades en su crecimiento y desarrollo por presencia de sales en el perfil del suelo. De esta manera se puede afirmar que los valores salinos encontrados no son lo suficientemente altos como para provocar algún trastorno en el normal comportamiento de los cultivos a campo.

TABLA 7 - RESUMEN ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA – MONTE vs AGRICULTURA  
 Conductividad Eléctrica 1:1 (ds m<sup>-1</sup>).

CE (dS m <sup>-1</sup> )						
Situación	Profundidad	Nº de muestras	Media	VMax	Vmin	CV
Monte	A (0-15cm)	50	0.33	1.80	0.14	74.55
	B (15-23cm)	50	0.33	1.15	0.17	56.82
	C (23-41cm)	50	0.42	1.08	0.11	62.99
	D (41-61cm)	50	0.49	1.38	0.13	73.32
Agricultura	A (0-15cm)	50	0.15	0.26	0.09	29.98
	B (15-23cm)	50	0.17	0.32	0.08	37.24
	C (23-41cm)	50	0.22	0.43	0.09	33.22
	D (41-61cm)	50	0.28	0.60	0.11	41.38

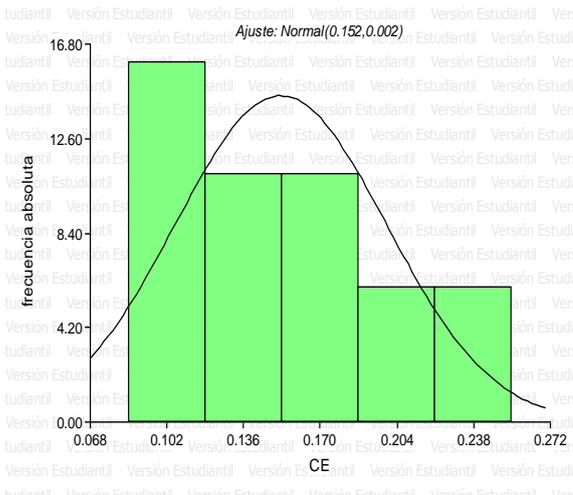
Para una mayor comprensión de estos datos se realizaron mapas de contorno con el objetivo de aclarar esta distribución desuniforme de las propiedades estudiadas en las dos situaciones. De esta manera, se explicara el comportamiento espacial de las mismas.

#### ***Distribucion de frecuencias de conductividad eléctrica y pH***

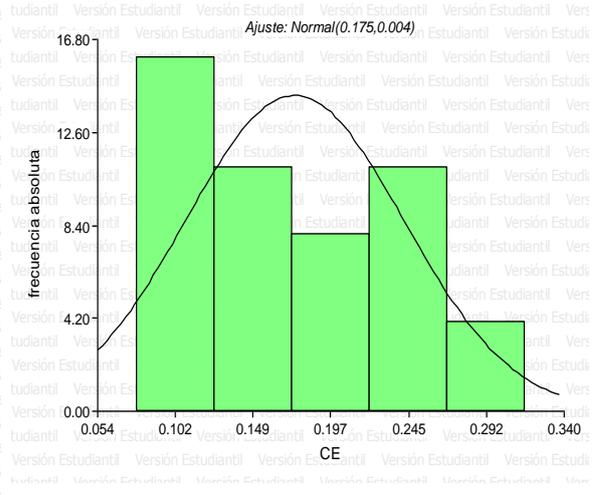
Las variables edáficas analizadas presentaron una distribución no normal (Figuras). Este comportamiento se debió al sesgo introducido por los valores extremos que tomaron las variables, sobre todo CE, y de manera más marcada en la situación Monte. Resultados similares fueron obtenidos por diversos autores (Canh et al, 1994; Cambardella et al, 1994; Kravchenko y Bullock, 1999 y Merchiori, 2000). Young et al, (1999) establecieron que estas distribuciones pueden resultar de la inclusión de unidades de mapeo diferentes dentro de un mismo sitio. Este tipo de comportamiento pudo observarse claramente en ambas situaciones debido a la presencia de distintos ambientes en una misma unidad, en el caso de monte: árbol

y gramínea y para agricultura: normal y manchón, lo cual explicaría el comportamiento de las variables en estudio. Los CV están considerados dentro de los reportados comúnmente en la bibliografía. El pH fue la variable con menor CV y la de mayor CV fue CE. Mientras que dentro de cada situación se observó que dentro Monte los CV son mayores y esto se explica por la complejidad de la composición paisajística que esta posee y la presencia del árbol como generador de variabilidad.

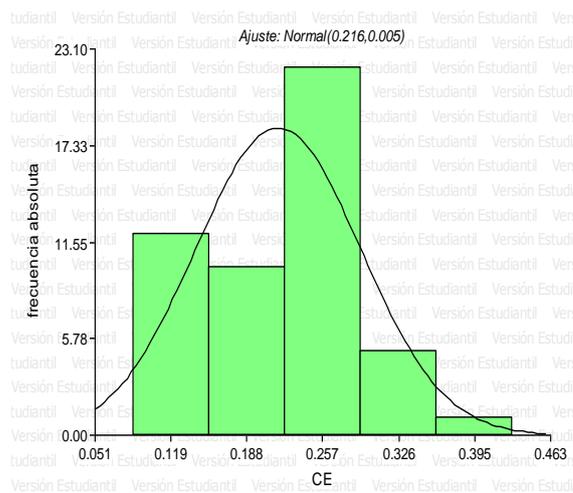
### Agricultura



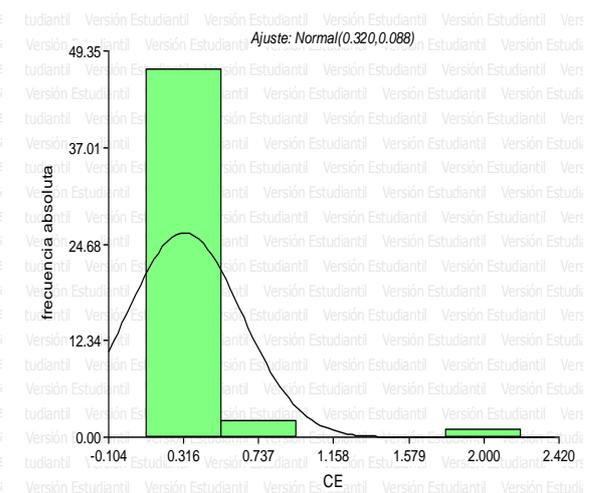
Distribución de frecuencia absoluta para CE (0-15cm)



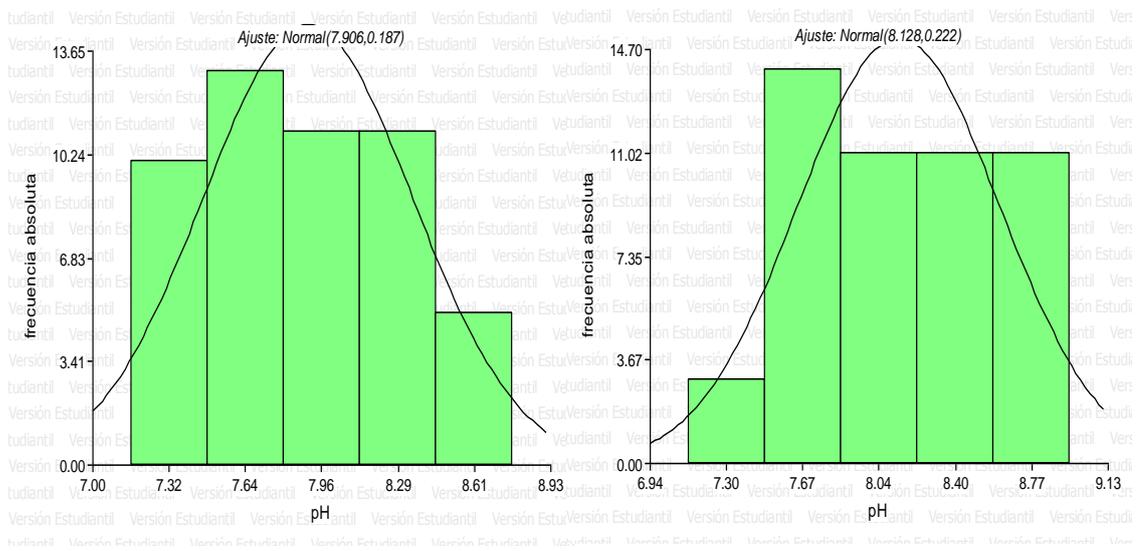
Distribución de frecuencia absoluta para CE (15-23cm)



Distribución de frecuencia absoluta para CE (23-41cm)

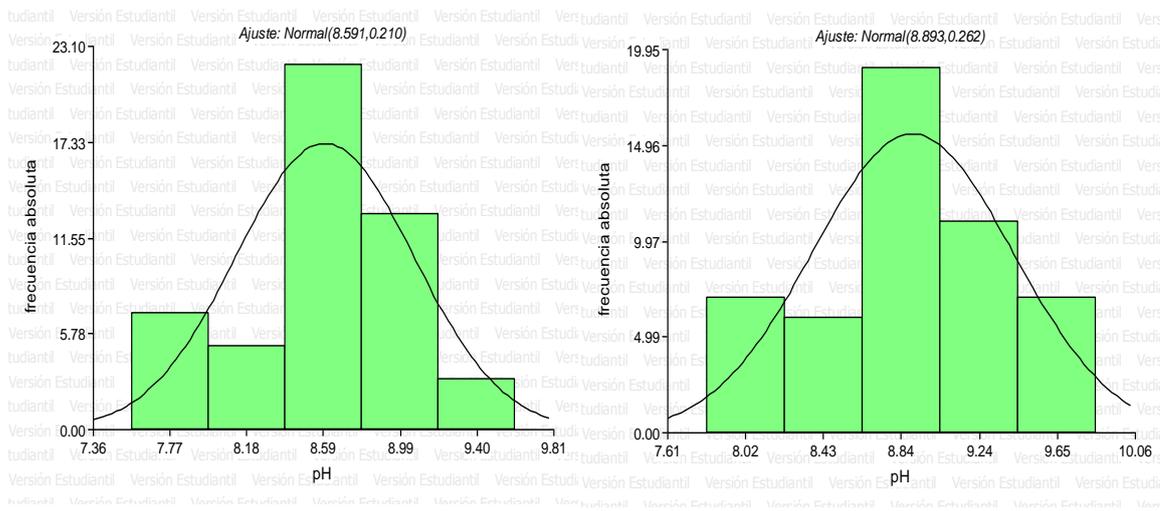


Distribución de frecuencia absoluta para CE (41-61cm)



Distribución de frecuencia absoluta para pH (0-15cm)

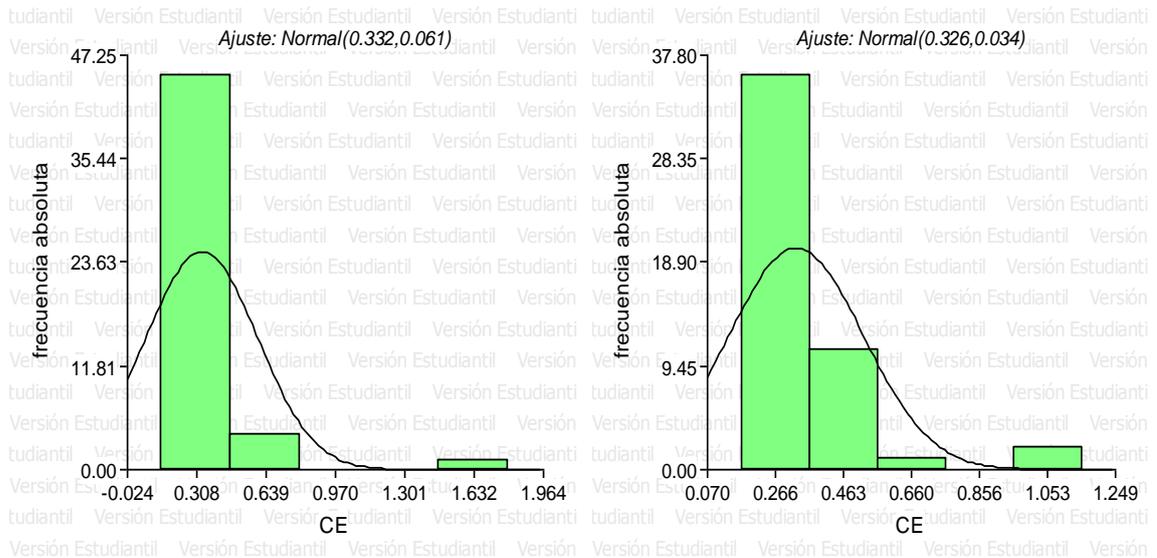
Distribución de frecuencia absoluta para pH (15-23cm)



Distribución de frecuencia absoluta para pH (23-41cm)

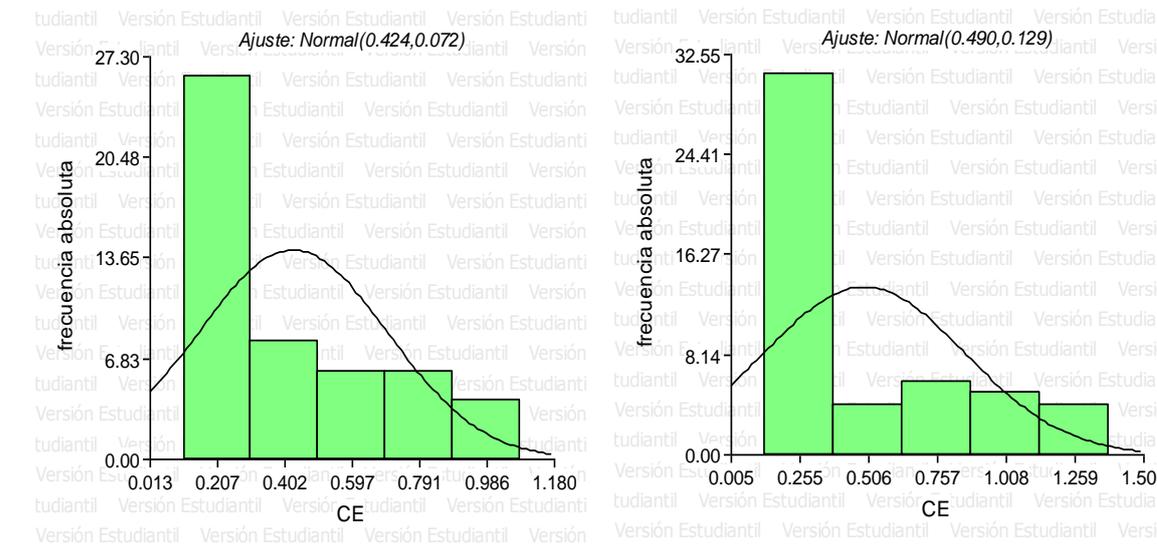
Distribución de frecuencia absoluta para pH (41-61cm)

**Monte**



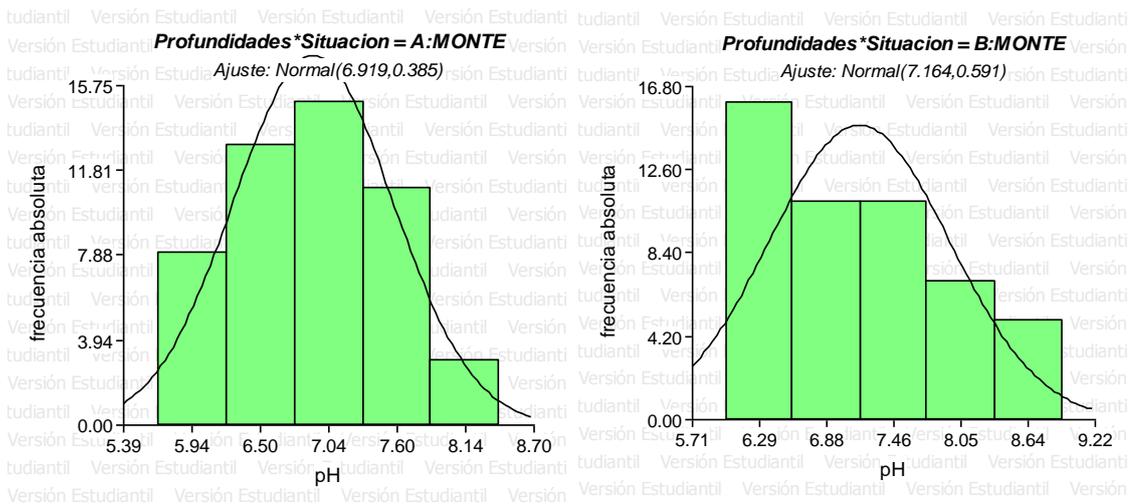
Distribución de frecuencia absoluta para CE (0-15cm)

Distribución de frecuencia absoluta para CE (15-23cm)



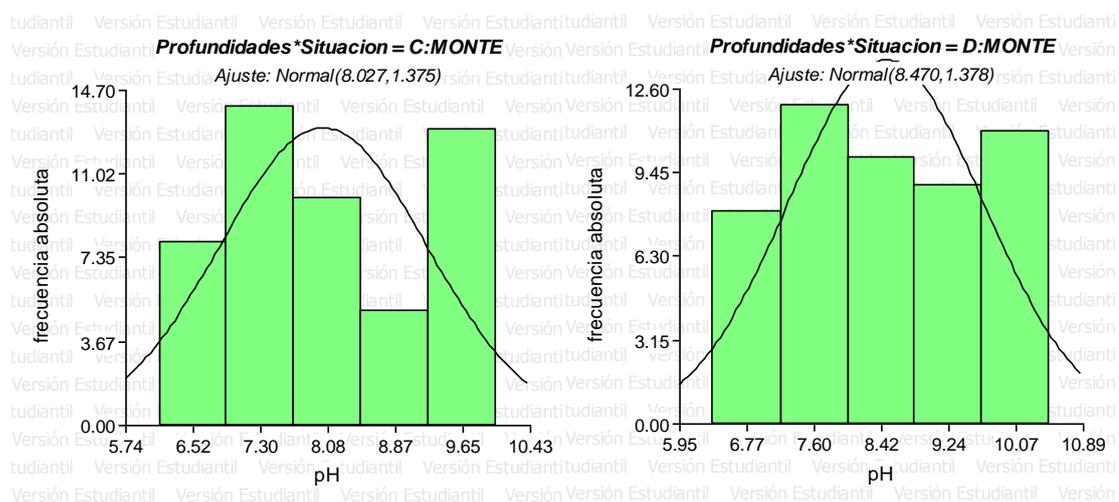
Distribución de frecuencia absoluta para CE (23-41cm)

Distribución de frecuencia absoluta para CE (41-61cm)



Distribución de frecuencia absoluta para pH (0-15cm)

Distribución de frecuencia absoluta para pH (15-23cm)



Distribución de frecuencia absoluta para pH (23-41cm)

Distribución de frecuencia absoluta para pH (41-61cm)

Samper y Carrera (1990) y Wollenhaup et. al. (1997) señalan que la condición de normalidad no es restrictiva para la aplicación de los métodos geoestadísticos debido a que los métodos son igualmente aplicables pero no óptimos. Por otra parte, Kravchenko y Bullock, (1999), señalan que el efecto de transformación de variables sobre las estimaciones pueden resultar insignificantes y a veces contraproducentes, por este motivo los análisis se realizaron sobre la variable sin transformar.

### ***Conductividad eléctrica en monte para “árbol” y “gramínea”***

La Tabla 8 muestra los estadísticos descriptivos: media, valor máximo, valor mínimo y coeficiente de variación de los valores de CE, en la situación monte. En este caso se puede observar la división entre dos zonas de análisis diferente, dentro de una misma situación, que fueron caracterizados como “árbol” y “gramíneas” debido a la presencia de vegetación dominante en cada sector de la grilla de muestreo.

TABLA 8- RESUMEN ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MONTE – Árbol vs Gramíneas  
Conductividad Eléctrica  $_{1:1}$  (ds m<sup>-1</sup>)

		CE (dS m <sup>-1</sup> )				
Situación	Profundidad	Nº de muestras	Media	VMax	Vmin	CV
<b>Árbol</b>	A (0-15cm)	15	0.41	1.07	0.14	32.01
	B (15-23cm)	15	0.38	1.02	0.18	26.83
	C (23-41cm)	15	0.54	1.08	0.22	57.90
	D (41-61cm)	15	0.62	1.35	0.26	61.92
<b>Gramíneas</b>	A (0-15cm)	36	0.27	0.78	0.14	88.19
	B (15-23cm)	36	0.30	0.59	0.17	65.79
	C (23-41cm)	36	0.38	0.90	0.11	64.50
	D (41-61cm)	36	0.44	1.38	0.13	77.84

En este caso se observa que los comportamientos de los valores medios de CE son mayores en todas las profundidades en la situación “árbol” en comparación con la situación “gramíneas” aunque las diferencias no sean significativas, las tendencias indican que en los arboles hay mayor concentración de sales sobre todo en las ultimas profundidades. Aceptamos la tendencia que en los arboles hay mayor cantidad de sales especialmente en profundidad relacionado al sistema de raíces del algarrobo (Heuperman 1999). El aumento de los valores medios de CE puede deberse al papel que juegan estas especies forestales dentro del ecosistema como extractores de sales en profundidad y deposición de las mismas en las cercanías de la superficie. Esto se debe a que la evapotranspiración constante provoca succión y elevaciones de sales que se encuentran en la profundidad del suelo cerca de la zona de saturación. Posiblemente en un monte prístino existen diferencias notorias y definidas en los perfiles salinos de árbol y gramíneas, pero dado que el monte investigado ha sido intervenido (Figura 14) por el hombre no se descarta la posibilidad de que alguno de los lugares muestreados e identificados como gramíneas hayan sido árboles que han sido eliminados, lo que determina que no existan diferencias importantes entre los mismos.



**Figura 14.** Monte Intervenido.

#### ***Conductividad eléctrica en agricultura para “manchón” y “normal”***

La Tabla 9 muestra los estadísticos descriptivos: media, valor máximo, valor mínimo y coeficiente de variación de los valores de CE, en la situación agricultura. En esta situación las zonas de muestreo están divididas en “manchón” y “normal” tomando como parámetro para la división el desarrollo de los cultivos existentes en la zona y realizando un análisis a partir de imágenes satelitales.

TABLA 9 - RESUMEN ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Agricultura– Manchón vs Normal Conductividad Eléctrica <sub>1:1</sub> (dsm-1)

CE (dS m <sup>-1</sup> )						
Situación	Profundidad	Nº de muestras	Media	VMax	Vmin	CV
<b>Manchón</b>	A (0-15cm)	24	0.17	0.26	0.09	28.21
	B (15-23cm)	24	0.20	0.32	0.10	31.45
	C (23-41cm)	24	0.24	0.43	0.13	26.41
	D (41-61cm)	24	0.32	0.60	0.20	35.52
<b>Normal</b>	A (0-15cm)	26	0.13	0.23	0.09	26.13
	B (15-23cm)	26	0.15	0.27	0.08	40.34
	C (23-41cm)	26	0.19	0.35	0.09	37.65
	D (41-61cm)	26	0.25	0.52	0.11	45.15

En este caso se puede observar que los valores medios más altos de CE se corresponden con la situación manchón, aunque no llegan a ser tan elevados como para impedir el normal comportamiento de los cultivos implantados en la zona. En este caso se observa que los valores más altos de CE no llegan a ser tan altos como los del monte. Esto puede deberse a que el cambio de vegetación ayudado por las precipitaciones caídas en el lugar produzcan un lavado de las sales. El aporte de sales en esta situación por medio de la evapotranspiración no es la misma que la suministrada por árboles en el monte desde zonas profundas. Este proceso se ve limitado en este ambiente debido a las características de las especies anuales implantadas con un régimen evapotranspiratorio más bajo que las especies forestales son el resultado de una menor concentración de sales en el perfil, por no llegar a elevar las sales desde las profundidades, retroalimentando el sistema el cual se produce en el monte. Los sistemas radicales profundos de las especies leñosas (Schenk & Jackson 2002) pueden permitir a los bosques aprovechar pulsos de precipitación inusualmente grandes, que escaparían del alcance de las raíces más superficiales de las especies anuales cultivadas. Los árboles presentan mayor capacidad evaporativa que los pastos (Figura 3). Cuando esta mayor

capacidad se expresa a expensas del consumo de agua subterránea, el establecimiento de árboles sobre pastizales puede ocasionar la salinización de suelos (Heuperman 1999; Jobbágy & Jackson 2004). Por lo tanto se observa que los valores disminuyen en Agricultura atenuando el efecto que podrían causar las sales sobre el normal desarrollo de los cultivos agrícolas.

### ***pH en monte y agricultura***

En el análisis del comportamiento del pH para las distintas situaciones abordadas, se describe la influencia y la presencia de una napa freática bicarbonatada sódica con importante impacto sobre el suelo. Debido a la predominancia del anión  $\text{CO}_3^-$  y el catión  $\text{Na}^+$  que provienen de un ácido débil ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) y una base fuerte (NaOH) el pH se eleva en forma considerada cuando esta sal se encuentra presente en la solución del suelo. Debido a su alta solubilidad y alcalinidad, las soluciones conteniendo esta sal son muy peligrosas para las plantas y causan una peptización (dispersión) muy fuerte del coloide, generando baja permeabilidad y pobres condiciones hidrofísicas en el suelo (Cisneros, 1994). Estos pH no se elevan tanto cuando hay sales (caso monte) y se elevan muchísimo cuando no hay sales (caso agricultura).

En la Tabla 10 se observa que los valores medios de pH son mayores en la situación Agricultura, esto se atribuye a que la menor presencia de sales hidrolizadas evita que los valores sean tan elevados como en la situación Monte.

TABLA 10 – RESUMEN ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MONTE VS AGRICULTURA  
pH<sub>1:2.5</sub>.

		pH				
Situación	Profundidad	Nº de muestras	Media	VMax	Vmin	CV
Monte	A (0-15cm)	50	6.91	8.42	5.67	9.53
	B (15-23cm)	50	7.16	8.93	6.00	10.79
	C (23-41cm)	50	8.03	10.04	6.13	14.61
	D (41-61cm)	50	8.47	10.48	6.36	13.86
Agricultura	A (0-15cm)	50	7.91	8.77	7.16	5.47
	B (15-23cm)	50	8.13	8.95	7.12	5.80
	C (23-41cm)	50	8.59	9.61	7.56	5.34
	D (41-61cm)	50	8.89	9.86	7.81	5.76

Las importantes diferencias que se observan entre valores máximos y mínimos a partir de los 23cm en monte de hasta 2 unidades de pH se atribuyen a la elevada variabilidad de la acumulación de sodio y a la alta concentración de carbonatos libres que hacen que el pH se eleve considerablemente, mientras que los valores mínimos observados estarían relacionados al tipo y elevado contenido de materia orgánica (7.24% de 0-18cm y 6.03% de 18-31cm). Los mayores valores de CV en la situación Monte se atribuye a la elevada variabilidad que presenta el sodio en su distribución espacial producto de la influencia del árbol. Al igual que en el análisis de CE la variación de los datos o CV son menores en agricultura. Posiblemente la quita del árbol y la posterior agriculturización del suelo tienen a homogeneizar los valores de las variables. La alcalinización del suelo está asociado al exceso de Na<sup>+</sup> de cambio (Cisneros *et al.*, 2008) que podría explicar los altos valores de pH encontrados en los 30-50 cm de profundidad en la mayoría de los tratamientos, siendo que elevados valores de pH (> 8,5) indicarían presencia de altas concentraciones de sodio intercambiable (Taboada, 2013). Taboada y Lavado (2009) sostienen que los suelos sódicos poseen elevada resistencia

mecánica. Esto permitiría sustentar la idea que a mayor contenido de sodio la resistencia mecánica aumentaría, teniendo en cuenta que en los suelos sódicos, las partículas de arcillas dispersas pueden moverse por los poros del suelo bloqueándolos, como así también, tendiendo a hincharse cuando se mojan y a endurecerse y cuartearse cuando están secos (Porta Casanellas, 2003), además en suelos sódicos, donde los poros son inestables, la velocidad de infiltración se ve disminuida (Várallyay, 1981) y se produce el fenómeno de encharcamiento (Imbellone *et al.*, 2010b). Con lo que respecta a disponibilidad de nutrientes los altos valores de pH provocan la reducción de la disponibilidad de algunos nutrientes y micronutrientes esenciales para las plantas como Mg, Ca, N, Fe, Mn Cu y Zn, lo cual puede afectar el normal desarrollo de los cultivos sobre todos en la situación agricultura donde los valores encontrados son mayores.

### ***pH en monte para “árbol” y “gramínea”***

En la Tabla 11 se observa que las diferencias entre medias son muy escasas y no llegan a diferenciarse como para marcar situaciones distintas lo que se atribuye al alto grado de intervención antrópica del monte por la cual la posibilidad de distorsiones en la toma de datos es mayor, ya que no fue posible conocer si en la situación gramíneas hubiese existido un árbol anteriormente.

En el monte los menores valores de pH se atribuyen al elevado contenido de materia orgánica (7.24% de 0-18cm y 6.03 de 18-31cm). Los valores máximos pueden atribuirse a la presencia de sodio en lugares localizados que provocan los elevados valores de pH.

TABLA 11- RESUMEN ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MONTE – Árbol vs Gramíneas  
pH 1:2.5.

		pH				
Situación	Profundidad	Nº de muestras	Media	VMax	Vmin	CV
<b>Árbol</b>	A (0-15cm)	14	6.61	7.68	5.67	10.16
	B (15-23cm)	14	7.01	8.93	6.05	13.75
	C (23-41cm)	14	8.06	10.04	6.32	15.81
	D (41-61cm)	14	8.72	10.18	6.67	13.97
<b>Gramíneas</b>	A (0-15cm)	36	7.04	8.42	6.09	8.42
	B (15-23cm)	36	7.22	8.60	6.00	9.57
	C (23-41cm)	36	8.01	10.04	6.13	14.34
	D (41-61cm)	36	8.37	10.48	6.36	10.48

***pH en agricultura para “manchón” y “normal”***

En la tabla 12 los valores de pH son más elevados debido a la lixiviación de las sales y a la disminución de los contenidos de materia orgánica (2.42% 0-18cm y 1% de 18-31cm). Las consecuencias producidas por los mismos son las mismas que se explicaron en las tablas anteriores.

También se observa que los valores de CV son bajos según Warrick & Nielsen (1980) por las razones expuestas en la tabla N° 10.

TABLA 12- RESUMEN ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Agricultura – Normal vs Manchón pH 1:2.5.

Situación	pH					
	Profundidad	Nº de muestras	Media	VMax	Vmin	CV
Manchón	A (0-15cm)	24	8.13	8.77	7.51	4.42
	B (15-23cm)	24	8.31	8.79	7.49	4.67
	C (23-41cm)	24	8.77	9.61	7.93	3.88
	D (41-61cm)	24	9.07	9.86	8.14	4.60
Normal	A (0-15cm)	26	7.70	8.73	7.16	5.10
	B (15-23cm)	26	7.97	8.95	7.12	6.14
	C (23-41cm)	26	8.43	9.26	7.56	5.93
	D (41-61cm)	26	8.73	9.51	7.81	6.21

### Caracterización de Suelo Bajo Un Árbol Representativo

Con el objetivo de analizar una situación específica y poder entender con mayor claridad los resultados se analizó un árbol representativo.

Se encontraron valores de pH mayores fuera de la copa del árbol, con respecto a los del suelo bajo la copa y tanto fuera como dentro de la copa fueron aumentando en profundidad (Tabla 13). Con respecto a la CE se hallaron mayores valores dentro de la copa. Esto podría deberse a que los árboles tienen mayor capacidad transpirativa que los pastizales y los cultivos herbáceos. Ello está dado por sus mayores superficies foliares y por sus sistemas radicales, generalmente más profundos, utilizando exhaustivamente la precipitación, reducen de forma drástica la recarga de la napa, y son capaces de acumular sales, manteniendo niveles freáticos profundos provocando salinización en los suelos. Cuando son reemplazados por cultivos de secano, se caracterizan por la salinización de las aguas subterráneas (Jobbágy *et al.*, 2008).

Por otra parte, los menores valores de pH se pueden atribuir al tipo y contenido de MO (Tabla 5).

**Tabla 13.** pH y Conductividad eléctrica 1:1 en suelo bajo árbol representativo

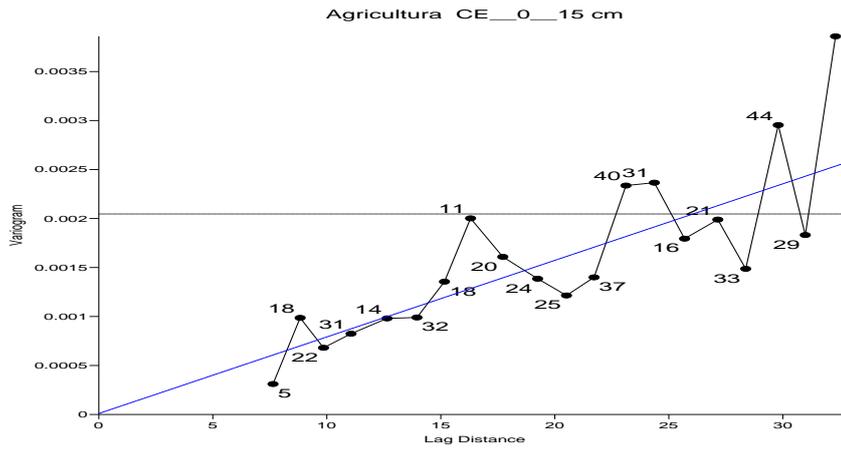
<b>Profundidad (cm)</b>	<b>pH 1:2,5</b>	<b>CE 1:1 dS.m<sup>-1</sup></b>
<b>DENTRO DE LA COPA</b>		
<b>0-20</b>	<b>6,97</b>	<b>0,435</b>
<b>20-40</b>	<b>8,45</b>	<b>0,675</b>
<b>40-60</b>	<b>9,38</b>	<b>0,761</b>
<b>60-80</b>	<b>9,15</b>	<b>0,936</b>
<b>FUERA DE LA COPA</b>		
<b>0-20</b>	<b>7,4</b>	<b>0,212</b>
<b>20-40</b>	<b>8,8</b>	<b>0,320</b>
<b>40-60</b>	<b>9,52</b>	<b>0,410</b>
<b>60-80</b>	<b>10,01</b>	<b>0,776</b>

#### **Análisis de Datos Georreferenciados**

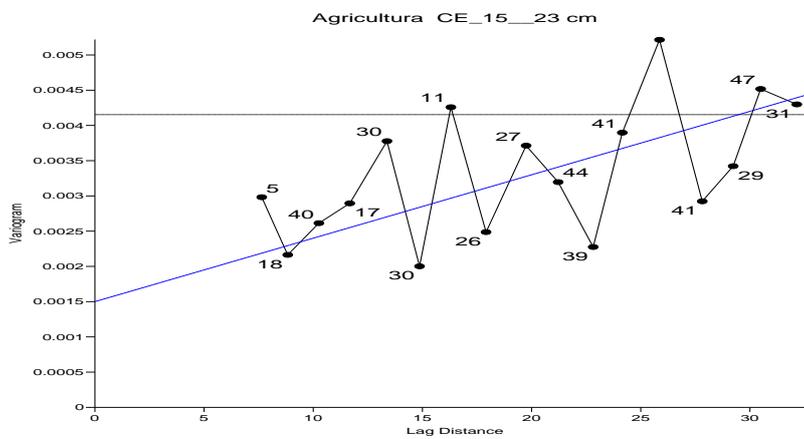
Las variables que mostraron dependencia espacial permitieron el ajuste de semivariogramas experimentales y de esta manera se realizaron, a partir del software surfer (Golden Software, 1999), mapas de isocurvas que determinan la variabilidad espacial de las variables analizadas (Figura 15 y 16). En la situación agricultura las variables que mostraron mayor dependencia (Tabla 14) fueron pH en la primera profundidad de 0-15cm ajustándose a un modelo Wave mientras que en el caso de conductividad eléctrica las profundidades de 0-15 y de 15-23 cm fueron las de mayor dependencia espacial y se ajustaron al modelo lineal.

En monte la variable pH a los 23-41cm y +41cm mostraron dependencia espacial (Tabla 15) ajustándose a un modelo lineal.

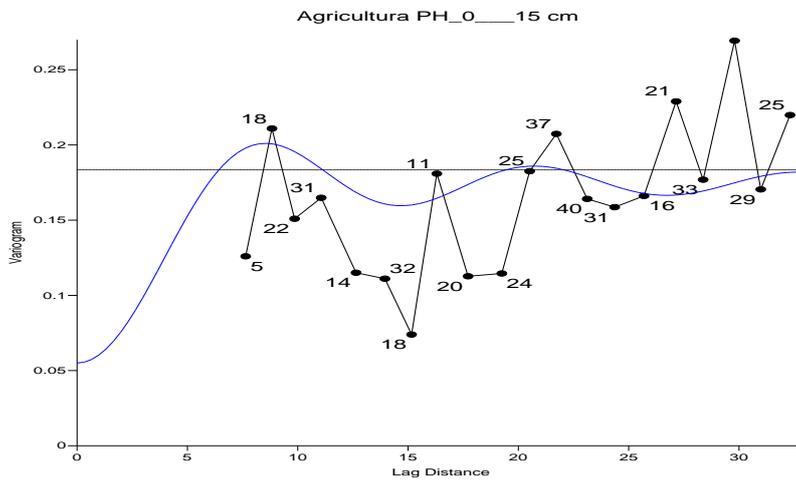
El resto de las variables no mostraron un ajuste adecuado como para la realización de mapas que describan el proceso estudiado por la baja confiabilidad de los datos estimados.



(a)

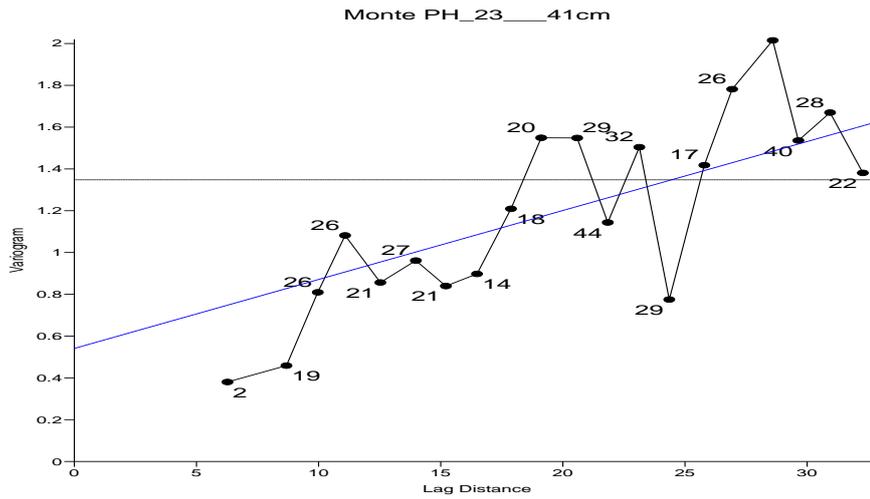


(b)

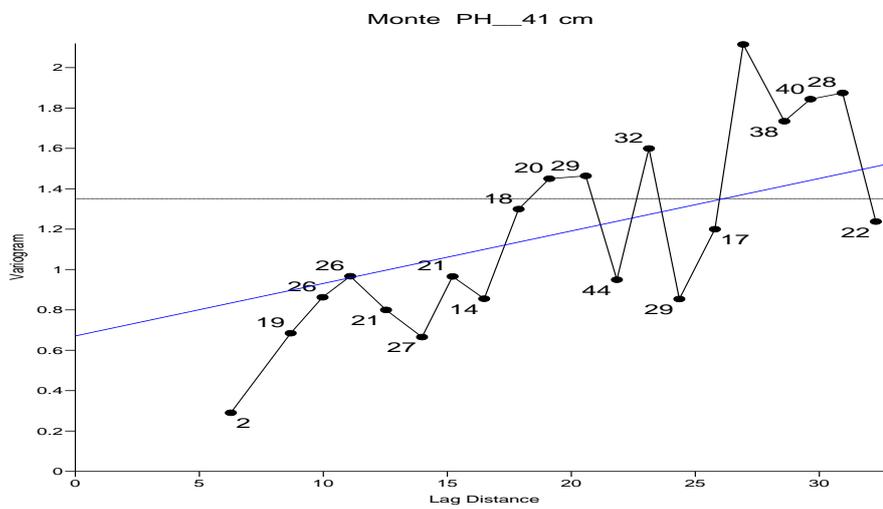


(c)

**Figura 15.** Semivariogramas para variables edáficas. Agricultura a) CE 0-15cm b) CE 15-23cm y c) pH 0-15cm. La línea punteada corresponde a la varianza de la muestra.



(a)



(b)

**Figura 16.** Semivariogramas para variables edáficas. Monte a) pH 23-41cm b) pH +41cm. La línea punteada corresponde a la varianza de la muestra.

En la Tabla 14 y 15 se muestran se muestran los parámetros de cada semivariograma ajustado para cada variable estudiada.

**Tabla 14.** Parámetros de los semivariogramas para las variables analizadas situación agricultura.

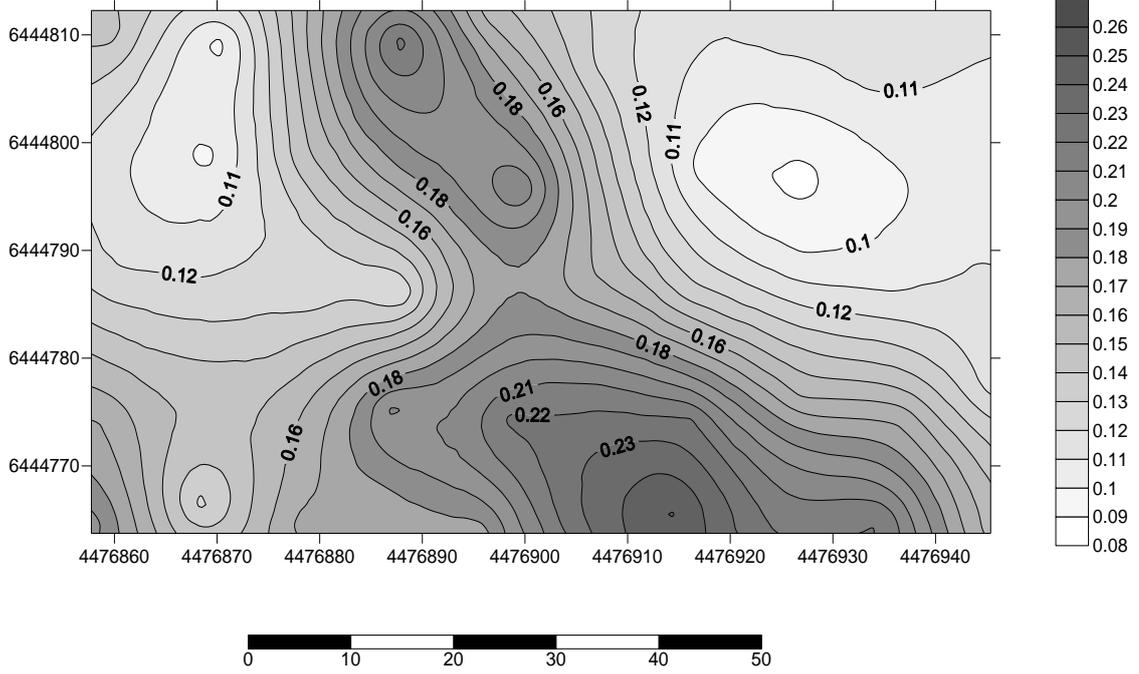
Parámetros	pH 1:2,5	pH 1:2,5	pH 1:2,5	pH 1:2,5	CE 1:1	CE 1:1	CE 1:1	CE 1:1
	0-15cm	15-23cm	23-41 cm	+41 cm	0-15 cm	15-23 cm	23-41 cm	+41 cm
<b>Modelo</b>	Wave	Lineal	Lineal	Lienal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal
<b>Pepita (Co)</b>	0,047	0,06	0,07	0,14	0,0001	0,0015	0,002	0,007
<b>Meseta (C+Co)</b>	0,20	0,26	0,22	0,27	0,0025	0,0044	0,0055	0,014
<b>Rango</b>	33	33	33	33	33	33	33	33
<b>Anisotropia</b>	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
<b>C/C+Co</b>	0,76	0,76	0,68	0,48	0,96	0,65	0,63	0,5
<b>R<sup>2</sup> (Valid. cruzada)</b>	0,36	0,23	0,20	0,09	0,63	0,33	0,06	0,07

**Tabla 15.** Parámetros de los semivariogramas para las variables analizadas situación monte.

Parámetros	pH 1:2,5	pH 1:2,5	pH 1:2,5	pH 1:2,5	CE 1:1	CE 1:1	CE 1:1	CE 1:1
	0-15cm	15-23cm	23-41cm	+41 cm	0-15 cm	15-23 cm	23-41 cm	+41 cm
<b>Modelo</b>	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal
<b>Pepita (Co)</b>	0,24	0,3	0,57	0,65	0,015	0,02	0,05	0,06
<b>Meseta (C+Co)</b>	0,40	0,6	1,6	1,45	0,033	0,042	0,08	0,14
<b>Rango</b>	33	33	33	33	33	33	33	33
<b>Anisotropia</b>	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
<b>C/C+Co</b>	0,4	0,5	0,64	0,55	0,54	0,52	0,37	0,57
<b>R<sup>2</sup> (Valid. cruzada)</b>	0,12	0,25	0,42	0,36	0,02	0,05	0,08	0,05

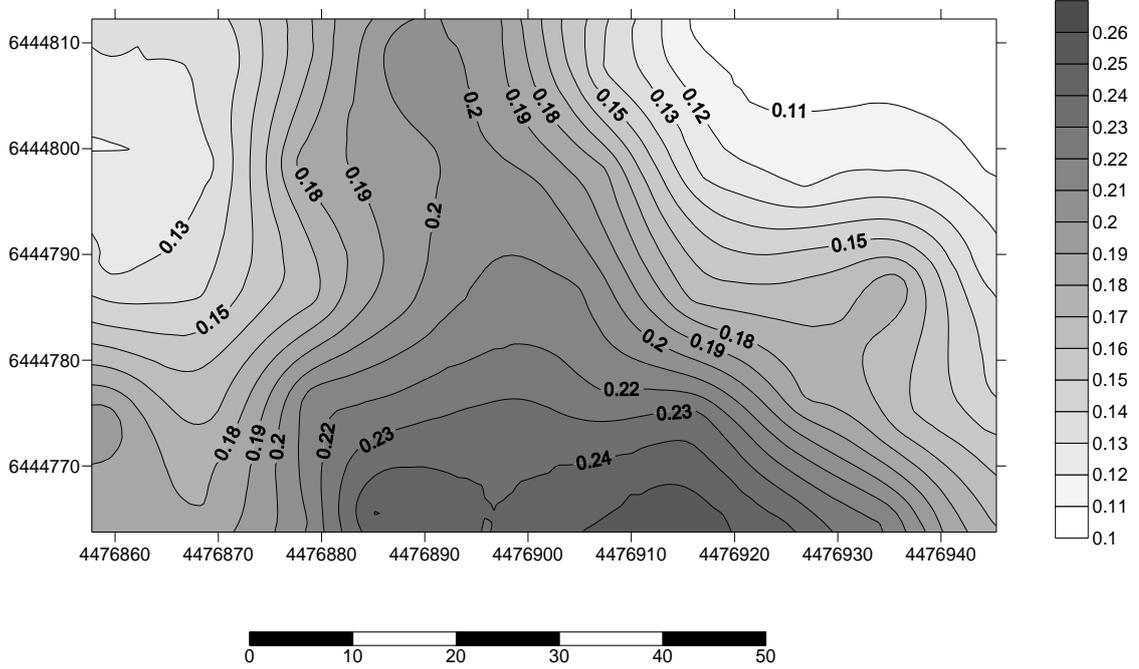
A continuación se muestra los mapas de isocurvas (Figuras 17 y 18) de variabilidad espacial de las propiedades del suelo que mejor se ajustaron a los modelos.

### Mapa Agricultura CE 0-15cm



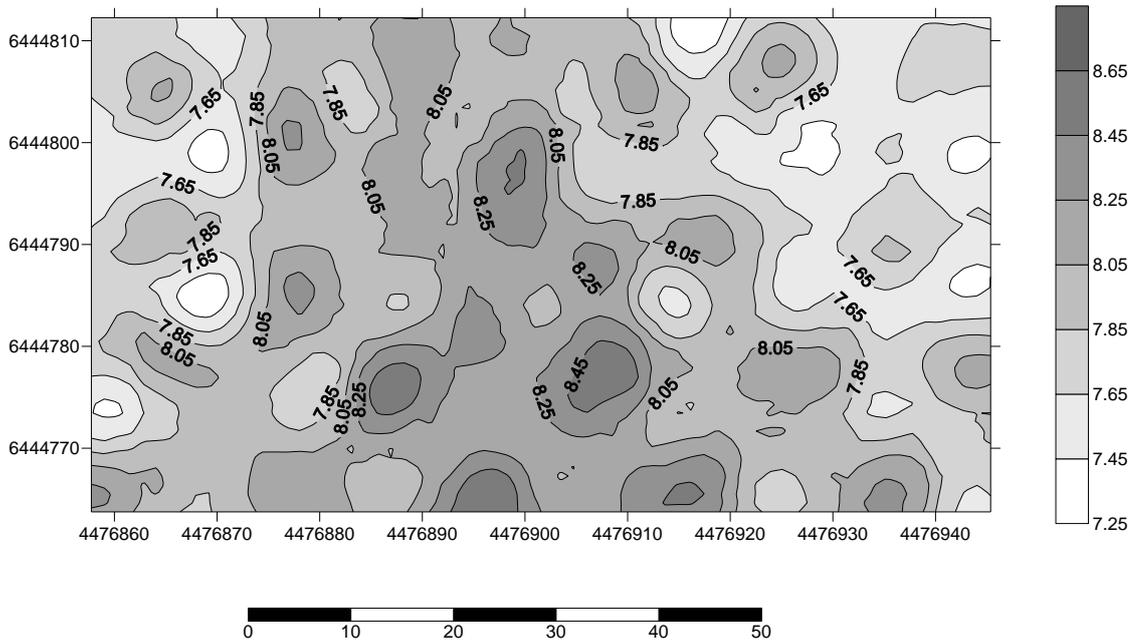
(a)

### Mapa Agricultura CE 15-23cm



(b)

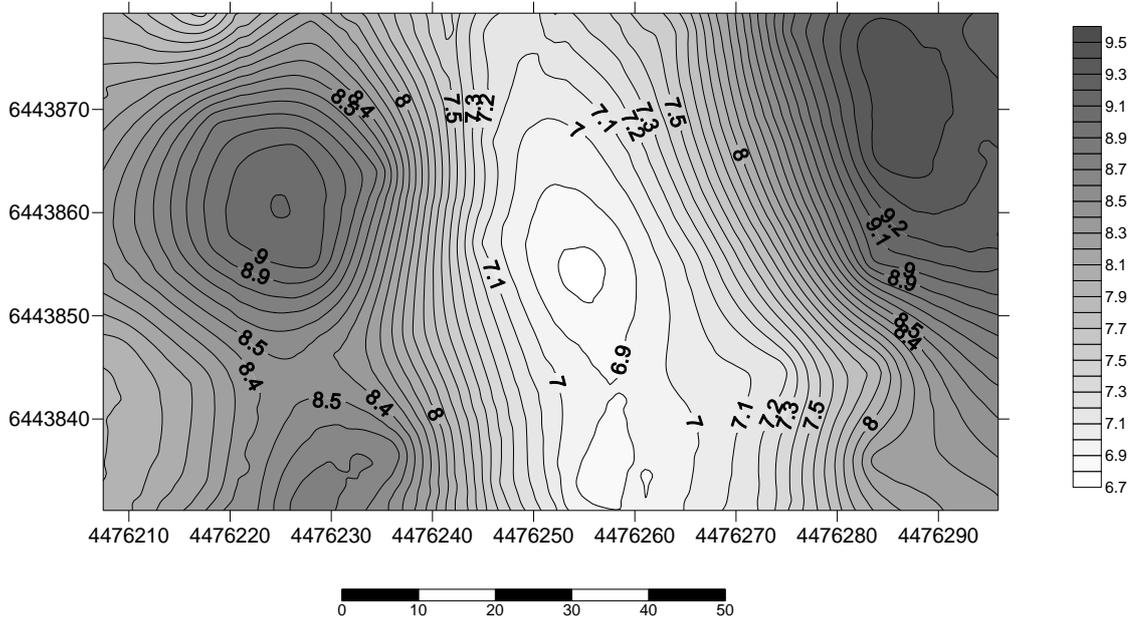
### Mapa Agricultura pH 0-15cm



(c)

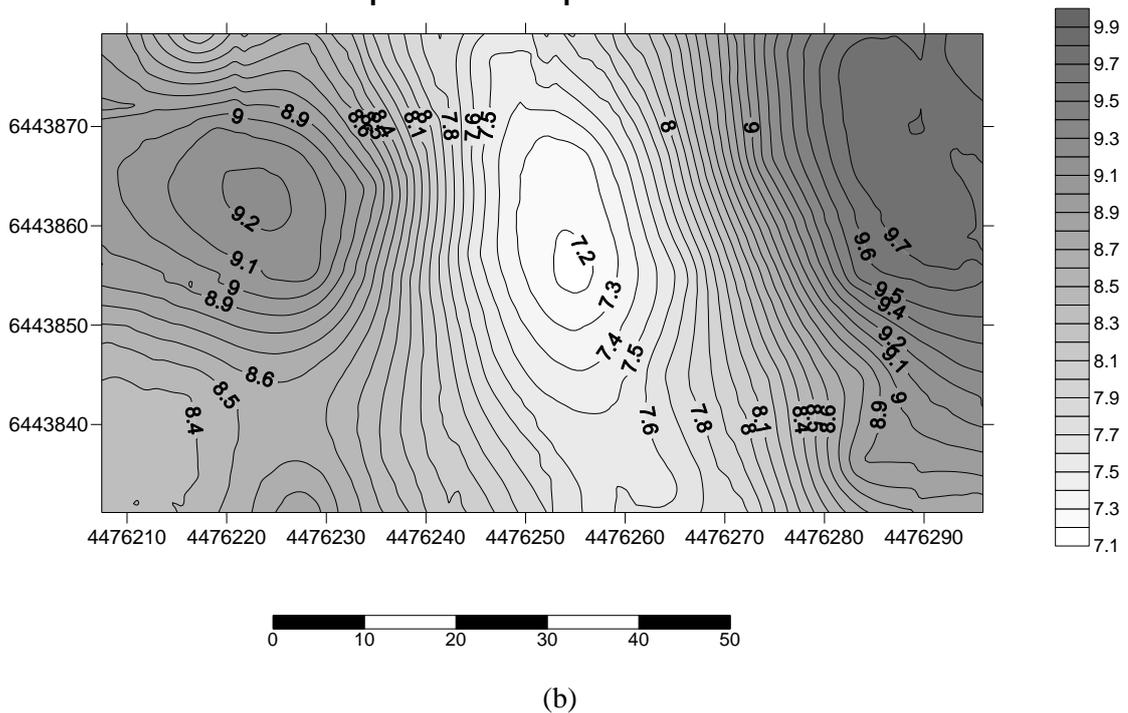
**Figura17.** Mapas de isolíneas. Agricultura a) CE 0-15cm, b) CE15-23cm, c) pH 0-15cm.

### Mapa Monte pH 23-41cm



(a)

## Mapa Monte pH +41cm



**Figura 18.** Mapas de isolíneas. Monte a) pH 23-41cm, b) pH +41cm.

Estos mapas de isolíneas que fueron los de mejor ajuste, muestran el patrón de distribución de las propiedades del suelo evaluadas en las diferentes situaciones. Este comportamiento puede atribuirse a la participación de factores externos al suelo que hacen que la distribución de pH y CE tiendan a manifestar un comportamiento particular, trabajos similares fueron realizados por Bosch Mayol et al. (2012).

En un nivel más detallado de percepción, los factores que provocarían la variabilidad espacial de cada propiedad serían las condiciones de suelo, la microtopografía, la vegetación y las técnicas de manejo utilizadas, ayudan a explicar los movimientos del agua y las sales dentro del perfil. Por lo tanto las mismas serían las responsables en gran parte del patrón de distribución de las variables abordadas.

La microtopografía forma distintos ambientes de suelo, en gran parte esto se debe a que se generan zonas de acumulación de agua y por ende una mayor infiltración. Esto influye en la distribución de las propiedades que se comportan particularmente siguiendo estas variaciones. Se manifiestan zonas con valores contrastantes de cada propiedad en cuestiones de metros. En las líneas de bajo existen sitios en donde el lavado de sales es mayor debido a la acumulación del agua en lugares puntuales.

El tipo de vegetación determina el balance hídrico del suelo y por lo tanto a sus componentes. El predominio de flujos lixiviantes o de flujos ascendentes generan el patrón de distribución de sales en el perfil. La composición del ecotono en la situación monte dado

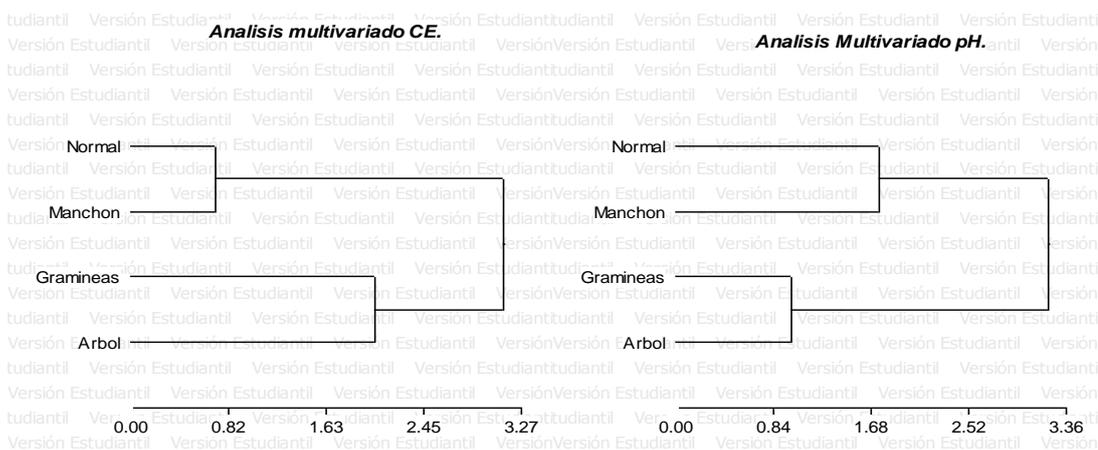
por estratos arbóreos y estratos gramíneos hacen variar a estos flujos verticales de agua que se manifiestan en una heterogénea distribución de las propiedades del suelo en pequeñas dimensiones.

Las técnicas de manejo que provocan la inversión de suelo influyen sobre las propiedades y afectan el patrón de distribución. Al sacar parte de las raíces de los árboles en la práctica del desmonte se provoca una mezcla de horizontes en el perfil.

En estudios más detallados podrían atribuirse con mayor precisión que factores de los arriba nombrados determinan la distribución de las variables en cada sector del lote.

### Agrupamiento de Datos en las Situaciones Abordadas

En la Figura 19 se muestra el resultado del análisis de conglomerado para las dos variables estudiadas en ambas situaciones.



**Figura 19.** Análisis conglomerado de CE y pH para las situaciones estudiadas.

En el análisis multivariado se muestra como los datos siguen un patrón de distribución similar para las dos situaciones estudiadas, mostrando que en cada una de ellas se forman dos grupos diferentes de acuerdo a la semejanza de los valores de las variables. De acuerdo a lo discutido anteriormente se podría inferir sobre una asociación entre “árbol” y “manchón” y por otro lado “gramíneas” y “normal”, ello debería ser corroborado con estudios que profundicen las causas efectos de esta relación.

## CONCLUSIONES

En agricultura los valores de CE y pH son mayores en la situación “manchón” que en la situación “normal” para todas las profundidades.

En monte los valores de CE son mayores en la situación “árbol” que en la situación “gramíneas” para todas las profundidades.

En monte los valores de pH son similares para “árbol” y “gramíneas”, mostrando diferencia solamente en la primera profundidad.

Los valores de CE en monte son mayores que los de agricultura.

Los valores de pH en agricultura son mayores que los de monte.

Los coeficientes de variación fueron siempre mayores para la variable CE que para pH.

En la situación monte los coeficientes de variación fueron mayores que en agricultura.

La distribución de las variables no fue normal para ninguno de los casos estudiados.

Los valores diferentes de CE permitieron caracterizar dentro de cada situación dos zonas, “árbol” y “gramíneas” para monte y “manchón” y “normal” para agricultura. Manifestando valores más elevados en “árbol” y “manchón” mostrando un patrón de distribución semejante en ambas situaciones. Esto indicaría una posible relación entre la zona “árbol” y la zona “manchón”.

Los valores diferentes de pH permitieron caracterizar dentro de cada situación dos zonas, “árbol” y “gramíneas” para monte y “manchón” y “normal” para agricultura. Manifestando valores más elevados en “manchón”. Esto indicaría una posible relación entre la zona “árbol” y la zona “manchón”.

Los métodos geoestadísticos fueron aplicados de manera limitada debido a que la dependencia espacial y el ajuste de los modelos no fueron óptimos. La gran variabilidad de los datos no permitió la correcta utilización de la técnica.

Se logró realizar mapas de contorno con una adecuada validación solo en CE de 0-15cm, 15-23cm y pH 0-15cm para agricultura y pH 23-41cm y +41cm para monte. Los mismos permiten apreciar la distribución espacial de las variables.

## CONSIDERACIONES FINALES

La problemática de los suelos sódicos y su comportamiento en el tiempo y espacio es un tema importante para seguir estudiando. Debido a la amplia superficie que ocupan en la región es necesario comprender el funcionamiento, y lograr de esta manera, un uso sustentable imprescindible para evitar la degradación de estos ambientes. Se considera interesante la posibilidad de seguir trabajando sobre esta línea de investigación ya que la variabilidad espacial de las características físico-químicas de los suelos es un tema que aún no ha sido clarificado y por lo tanto se incita a profundizar más en el mismo y utilizando los materiales que brinda la geoestadística poder demostrar la relación encontrada entre la situación monte con la situación agricultura. Se busca demostrar de esta manera la hipótesis ya planteada, de cómo la quita del monte y la posterior agriculturización de estos suelos producen cambios en los perfiles de salinidad y sodicidad. Resultaría conveniente estudiar con mayor grado de detalle las causas que determinan que la quita del árbol produzca una disminución del contenido salino y una variación del contenido de sodio de intercambio, las cuales se corresponderían con la situación “manchón” del suelo bajo agricultura aunque no se descartan que podría deberse a otros factores como serían la microtopografía, el manejo o la técnica de desmonte utilizada y que en la quita de la gramínea ocurre algo similar correspondiéndose a la situación “normal” del suelo en agricultura.

Se recomienda seguir probando con diferentes métodos de ajuste geoestadísticos para descartar de que exista o no dependencia espacial de las variables, ya que en este trabajo se utilizó una sola técnica de interpolación, el krigado ordinario.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEY WM, RW HEALY, JW LABAUGH Y TE REILLY. 2002. Flujo y almacenamiento en sistemas de aguas subterráneas. *Ciencia* 296:1985-1990.
- ALVAREZ, R.; H. S STEINBACH,. 2006. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. *Materia orgánica: valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*.
- BONADEO, E; E. HAMPP; M. BONGIOVANNI; I. MORENO, Y A. ODORIZZI. 2006. Relación entre propiedades físicas, químicas y raíces de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en suelos con “manchones”. *Ci. Suelo* 24 (2) 101 – 107.
- BONALUMI, A.; J. MARTINO; J. SFRAGUILLA; C. CARIGNANO Y A. TAUBER. 2005. Hoja geológica 3363-1. Villa María. 74 páginas. SEGEMAR. Buenos Aires.
- CAHN M. D., J. W. HUMMEL, AND B. H. BROUER. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1240-1248.
- CAMBARDELLA, C. A., T.B. MOORMAN, J. M. NOVAK, T. B. PARKIN, D. L. KARLEM, R. F. TURCO, and A. E. Konopka. 1994. Field scale variability in center Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- CASTRIGNANO, A.; M. MAIORANA; F. FORNARO; N. LOPEZ. 2002. 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in Southern Italy. *Soil & Tillage Res.* 65(1):95-108.
- CISNEROS, J. M. 1994. Caracterización de la afectación hidromorfa en suelos representativos del centro-sur de Córdoba. Tesis Ms Sc Ciencias del Suelo FAUBA. Inédita.
- CISNEROS, J. M.; DEGIOANNI, A.; CANTERO, J.J. y A. CANTERO. 2007. Caracterización de suelos salinos en el Área pampeana central. pp 17-46. En: E. Taleisnik, K. Grunberg y G. Santa María (eds). *La Salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. Editorial Universidad Católica de Córdoba. Córdoba.
- CISNEROS, J. M.; DEGIOANNI, A.; CANTERO, J.J.; CANTERO, A., 2008. Caracterización y manejo de suelos salinos en el área Pampa Central. *Salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*.
- DAHNIKE, W.C AND D.A. WHITNEY. 1988. Measurement of Soil Salinity. pp. 32-34. In W.C. Dahnke (ed.) *Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region*. North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull. 499.

DI RIENZO J.A.; F. CASANOVES; BALZARINI M.G.; L. GONZALEZ; M. TABLADA Y C.W. ROBLEDO. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

ETCHEVERE, P. 1976. Normas de reconocimiento de suelos INTA Castelar. Publicación N° 152. Fertiyeso Marca Registrada. Problemas de suelo limitantes para el adecuado desarrollo de las plantas: Conceptualización. En: [www.fertiyeso.cl/docs/manual.pdf](http://www.fertiyeso.cl/docs/manual.pdf) .Consultado: 01-08-2012.

FAO. 1985. Guidelines: land evaluation for irrigated agricultura. Directrices: evaluación de tierras para la agricultura de regadío. Boletín N° 55. Roma.

FAO. 1988. Los suelos salinizados y su manejo. Boletín N°39. Roma.

GOLDEN SOFTWARE (1999) Surfer: User's Guide (Versión 7.0). Golden, CO, EEUU. 679 pp.

GOOVAERTS, P. 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. Biol. Fert. Soils. 27(4):315-334.

GORGAS J.A.; M.V. BUSTOS. 2008. Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba con problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad sódica. En: La salinización de los suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria. Taleisnik, E; Grunberg, K; Santa María, Guillermo. (eds). Editorial de la Universidad Católica de Córdoba. Córdoba. pp 47-62.

HAMPP, E; E. BONADEO; M. BONGIOVANNI; I. MORENO. 2004 Aspectos genéticos de suelos con manchoneo XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.

HEUPERMAN A. 1999. Agricultural Water Management - AGR WATER MANAGE, vol. 39, no. 2, pp. 153-167.

HOUGHTON, R.; J. HOBBIE; B. MELILLO; B. MOORE; B. PETERSON; G. SHAVER; G. WOODWELL. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soil between 1860 and 1980 a net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere.

IMBELLONE, P.; J. GIMENEZ, Y J.L. PANIGATTI. 2010. Suelos de la region pampeana. Procesos de formación. UNLP-INTA. 288p.

INTA, 1987. Secretaria de Agricultura y ganadería de la Nación. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-9 Villa María. Plan Mapa de Suelos Córdoba-Argentina.

INTA, 1991. Secretaria de Agricultura y ganadería de la Nación Carta de suelos de la Republica Argentina. Hoja 3363-9 James Craik. Plan Mapa de suelos Córdoba- Argentina

INTA. 1993. Atlas de Suelos de la República Argentina. 2 Tomos.677 páginas.

INTA, 1998. Secretaria de Agricultura y ganadería de la Nación Guía para el reconocimiento de las propiedades morfológicas externas e internas del individuo suelo.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

JARAMILLO JARAMILLO DANIEL F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Medellín. Cap. 23. 613 pág.

JARAMILLO JARAMILLO D.F.; M. L. ANAYA GÓMEZ.; C.A. RESTREPO MONÁ.; H. A. GONZÁLEZ SÁNCHEZ Y F. ÁLVAREZ MEJÍA. 2011. Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.12, pág.1707-1715.

JARSUM, O., 2008. Manual de uso de interpretación de aguas. Secretaría de Ambiente de Córdoba y EEa INTA Manfredi.

JOBBÁGY, E. G; M.D. NOSETTO; C.S. SANTONI; G. BALDI. 2008. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura chaco-pampeana.

JOBBÁGY, E. G. 2010. Proyectando El Futuro. En: Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y Su Impacto Ecológico-Ambiental. Viglizzo E F; Jobbágy, E. (eds) INTA. Buenos Aires. Argentina. pp 71-78.

JOHANN, J.A.; M.A.U. OPAZO; E.G. SOUZA; J.V. ROCHA. 2004. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 8(2-3): p.212-219.

KARLIN U, R.COIRINI, L.CATALAN, C.ZAPATA. 1997. “*Prosopis chilensis*”. Argentina Fao Rlc Agroforesteria Arboles En Zonas Aridas.

KLUTE, A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods .Agron. Monograph N° 9 ASA, SSSA. Madison, Wisconsin, USA.

KRAVCHENKO A., and D. BULLOCK. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. Argon. J. 91: 393 – 400.

LEWIS, J. P.; I.; BARBERIS; D.; PRADO; S. NOETINGER. 2014. Los remanentes de bosques del espinal en el este de la provincia de Córdoba. Revista agromensajes-UNR-facultad de ciencias agrarias.

LOPEZ, J. A. 2006. Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla.

MACCHIAVELLO, A.; N. SUEIRO. 2012. Comportamiento de napas y calidad de agua en los partidos de General Villegas y Lincoln.

MACEDO, J.R.; , T.B. OTONNI; N.A. FILHOMENEGUELLI. 1998. Variabilidad de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo Podzólico Vermelho- espacial de atributos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-deaçúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28: 937-944.

MANTOVANI E.; DE CARVALHO PINTO F. DE A; MARÇAL DE QUEIROZ D. 2006. Introducción a la Agricultura de Precisión. Montevideo: PROCISUR/IICA 2006. Capítulo 1. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable / Rodolfo Bongiovanni, Evandro C. Montovani, Stanley Best, Alvaro Roel. 244 pág.

MANUEL-NAVARRETE D. G.; M. GALLOPÍN; M. BLANCO; D. DÍAZ-ZORITA; H. FERRARO; P. HERZER; J. LATERRA; M.R. MORELLO; W. MURMIS; M. PENGUE; G. PIÑEIRO; E.H. PODESTÁ; M. SATORRE; F. TORRENT; E. TORRES; M.G. VIGLIZZO; CAPUTO Y A. CELIS. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra-pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo. N° 118. ONU. Santiago de Chile, diciembre del 2005.

MELCHIORI, R. J. M. 2000. Variabilidad espacial del rendimiento en trigo, asociación con parámetros edáficos y evaluación de aplicaciones de nitrógeno para sitios específicos. Tesis para el grado de Magister Scientiae. Curso de posgrado en producción vegetal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarse, Buenos Aires.

MILAN, C.; BONADEO, E.; NUÑEZ, C.; OLIVO, S. Y M. FINELLO. 2013. Efecto del desmonte sobre el contenido de sales y sodio en suelos de Villa María –Cba- Jornadas Argentinas de Conservación de Suelos. Actas en C.D.

MOLIN, J.P.; F.R. LEIVA; J.H. CAMACHO-TAMAYO. 2008. Tecnología de la agricultura de precisión en el contexto de la sostenibilidad. En: Leiva, F.R. Ed.. Agricultura de precisión en cultivos transitorios. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. p.13-41.

NAVARRO, G. 2003 Química Agrícola. Cap. 13. El P en el Suelo. Ed. Mundi Prensa Libros. Barcelona. En: <https://books.google.com.ar/> Consultado el día 24/03/2015.

PAGE, A. L., R.H. MILLER; AND D.R. KEENEY. 1986. (eds). Agronomy Monograph N°9. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsin. USA. Pag 539-577.

PERALTA G. E.; R. C. GIL.; A. V. GARCÍA; M. RODRIGUÉZ 2010-2012. Informe final Chacra “La Redención-Sofro” Inriville Córdoba.

PORTA CASANELLAS, J.; LOPEZ ACEVEDO, M.; ROQUERO DE LABURU, C. 1993. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 849 p.

PORTA CASANELLAS, J.; M. LOPEZ ACEVEDO-REGUERIN, Y C. ROQUERO DE LABURU. 1994 SALINIZACIÓN Y SODIFICACIÓN: SUELOS DE REGADÍO. Ed. Mundi Prensa. Madrid

PORTA CASANELLAS, J.; M. LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN; C. ROQUERO DE LABURU. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3° ed. Editorial Mundi Prensa. Madrid. 917 p.

POSTEL SL, GC DAILY Y PR EHRlich. 1996. Apropiación humana de agua dulce renovable. Ciencia 271:785-788.

QADIR, M.; A GHAFOR ; G. MURTAZA. 2000. Amelioration strategies for saline soils. Land Degrad. And Develop. 11, 501-521.

QADIR M.; S. SCHUBERT. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. Land Degradation & Development 13: 275–294.

QUIROGA, A.; R. FERNANDEZ; D. FUNARO; N. PEINEMANN; 2008. Materia orgánica en molisoles de la región semiárida pampeana, influencia sobre las propiedades físicas y

productividad. En Galantini, J.A. (Ed). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la argentina. Editorial EdiUNS.

RENGASAMY, P.; R.S.B. GREENE; G.W. FORD; A. H. MEHANNI. 1984. Identification of dispersive behavior and the management of red-brown earths. *Aust. J. soil. Res.* 22: 413-431.

RENGASAMY, P. 1997. Sodic soils. En: Rengasamy Lal, R.; Blum, W.H.; Valentine, C. and A. Stewart. *Methods for assessment of soil degradation*, R. Lal et al. (Eds.) *Advances in Soil Science (USA)* 558 pp.

RICHARDS, L.A. 1973. Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. Mexico, 172 pags.

ROBERTSON, G.P. 1998. *Geoestadística para las ciencias del medio ambiente*. Gamma design software, plainwell, Michigan. USA.

SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. United States Department of Agriculture (USDA), *Agriculture Handbook Nro 60*. Washington.

SAMPER CALVETE F. J. Y J. CARRERA RAMIREZ. 1990. *Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea*. CIMNE. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. 484 p.

SANTONI, CS; EG JOBBÁGY; V MARCHESINI & S CONTRERAS. 2008. Diferentes usos del suelo: consecuencias sobre balance hídrico y drenaje profundo en zonas semiáridas. *Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 2008*. ISBN N° 978-987-21419-9-8.

SANTOS, A.O.; W.J. PALLONE FILHO; M.R.G. UNGARO; A.C.L. LINO; B. RANDIN. (2003) *Prospecção de zonas potenciais para manejo diferenciado em agricultura de precisão utilizando-se padrões de solo-planta-clima*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(3): 463-468.

SCHENK, HJ, RB JACKSON. 2002. Rooting depths, lateral root spreads, and belowground/aboveground allometries of plants in water limited ecosystems. *Journal of Ecology* 90:480-494.

SCHOFIELD, R; DSG THOMAS & MJ KIRBY. 2001. Causal processes of soil salinization in Tunisia, Spain and Hungary. *Land Degradation & Development* 12:163-181.

SCOPPA C., Di R. M. GIÁCOMO. 1985. Distribución y características de los suelos salinos y/o alcalinos de la Argentina. IDIA N°437-440. Mayo-Agosto.. INTA p.69-77.

SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. Dirección de Bosques. 2003. Atlas de los Bosques Nativos Argentinos, En: Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR. Disponible en [http://obio.ambiente.gob.ar/atlas-bosques-nativos-de-argentina\\_p394](http://obio.ambiente.gob.ar/atlas-bosques-nativos-de-argentina_p394).

SEYFRIED M.S.; S. SCHWINNING; M.A. WALVOORD. 2005. Ecohydrological control of deep drainage in arid and semiarid regions. Ecology 86:277-2.

SIQUEIRA, G.M.; S.R. VIEIRA; M.B. CEDDIA. (2008) Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. Bragantia, 67(1): 203-211.

SOIL SURVEY STAFF, 1993. Soil Survey Manual. Handbook N° 18. S.C.S. USDA Washington D.C.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service, 2nd ed.

SOLBRIG O.T. 1999. Observaciones sobre biodiversidad y desarrollo agrícola. Biodiversidad y uso de la Tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. Ed. Eudeba. Argentina.

SOUZA, Z.M.; J. MARQUES JÚNIOR; G.T. PEREIRA. 2004. Variabilidade espacial de atributos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-deaçúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28: 937-944.

STRECK, C.A.; D.J. REINERT; J.M. REICHERT; D.R. KAISER. 2004. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto, Revista Ciência Rural, 34(3): 755-760.

TABOADA, M. A; R.S. LAVADO. 2008. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Primera edición. Ed. Miguel A. Taboada y Raúl S. Lavado. Bs.As. Argentina.163p.

TABOADA, M.; R. LAVADO. 2009. Alteraciones de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. 1ra ed. Ed. Literaria, Universidad de Buenos Aires.

TABOADA, M.A. 2013. Funcionamiento de los suelos salino sódicos.

UTSET, A.; G. CID. 2001. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil & Tillage Research*, 61: 193-202.

VÁRALLYAY, G. 1981. Extreme moisture regime as the main limiting factors of the fertility of salt affected soils. *Agrokemia es Talajtan*, 30, 73-96.

VIEIRA, S.R. 2000. Geoestadística en estudios de variabilidad espacial del suelo. En: Nancy, M.p.; Álvarez, V.H.; Schaefer, C.E.G. R EDS temas en ciencia del suelo. Viçosa: SOC Bras. Ciencia del suelo. 1: 1-54.

VIGLIZZO E. F.; F. C. FRANK; L. V. CARREN; E. G. JOBBAGY; H. PEREYRA; J. CLATT; D. PINCEN; M . F. RICARD. 2010. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* (2010).

WAINWRIGHT J; A.J. PARSONS, W.H. SCHLESINGER Y A.D. ABRAHAMS. 2002. Hydrology-vegetation interactions in areas of discontinuos flow on a semi-arid bajada, Southern New Mexico. *Journal of Arid Environments* 51:319-338.

WALLENHAUPT N. C., D. J. MULLA AND C. A. GOTWAY CRAWFORD. 1997. Soil sampling and interpolation technique for mapping spatial variability of soil proprieties. In F. J. Pierce and E. J. Sadler (Ed). *The state of site specific management for agricultural*. A.S.A., C.S.S.A., S.S.S.A.

WARRICK, A.W.; D.R. NIELSEN. (1980) Spatial variability of soil physical proprieties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press.

YOUNG, F. G., R. D. HAMMER, AND D. LARSEN. 1999. Frequency distribution of soil properties on loess-mantled Missouri Watershed. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63: 178-185.

## ANEXOS

### Resultados ANOVA

*Situación monte vs agricultura:*

#### Test LSD FISHER

##### Análisis de la varianza PARA CE

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A	CE	100	0.20	0.19	73.80

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.73	1	0.73	23.75	<0.0001
Situacion	0.73	1	0.73	23.75	<0.0001
Error	3.02	98	0.03		
Total	3.76	99			

##### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.06972

Error: 0.0309 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.
AG	0.15	50	0.02 A
MONTE	0.32	50	0.02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
B	CE	100	0.22	0.22	55.80

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.55	1	0.55	28.42	<0.0001
Situacion	0.55	1	0.55	28.42	<0.0001
Error	1.89	98	0.02		
Total	2.44	99			

##### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.05511

Error: 0.0193 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.
AG	0.17	50	0.02 A
MONTE	0.32	50	0.02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C	CE	100	0.23	0.22	60.61

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.13	1	1.13	29.53	<0.0001
Situacion	1.13	1	1.13	29.53	<0.0001
Error	3.75	98	0.04		
Total	4.88	99			

##### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.07765

Error: 0.0383 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.

AG	0.22	50	0.03	A
MONTE	0.43	50	0.03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D	CE	100	0.07	0.06	80.83

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.75	1	0.75	6.97	0.0097
Situacion	0.75	1	0.75	6.97	0.0097
Error	10.58	98	0.11		
Total	11.33	99			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.13040**

Error: 0.1079 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.
AG	0.32	50	0.05
MONTE	0.49	50	0.05

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Análisis de la varianza PARA pH**

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A	pH	100	0.47	0.46	7.21

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	24.37	1	24.37	85.26	<0.0001
Situacion	24.37	1	24.37	85.26	<0.0001
Error	28.02	98	0.29		
Total	52.39	99			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.21221**

Error: 0.2859 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.
MONTE	6.92	50	0.08
AG	7.91	50	0.08

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
B	pH	100	0.37	0.36	8.34

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	23.27	1	23.27	57.26	<0.0001
Situacion	23.27	1	23.27	57.26	<0.0001
Error	39.83	98	0.41		
Total	63.10	99			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.25303**

Error: 0.4064 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.
MONTE	7.16	50	0.09

AG	8.13	50	0.09	B
----	------	----	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C	pH	100	0.09	0.08	10.71

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7.95	1	7.95	10.03	0.0021
Situacion	7.95	1	7.95	10.03	0.0021
Error	77.68	98	0.79		
Total	85.63	99			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.35337**

Error: 0.7927 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.
MONTE	8.03	50	0.13 A
AG	8.59	50	0.13 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D	pH	100	0.05	0.04	10.43

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4.47	1	4.47	5.45	0.0216
Situacion	4.47	1	4.47	5.45	0.0216
Error	80.39	98	0.82		
Total	84.86	99			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.35946**

Error: 0.8203 gl: 98

Situacion	Medias	n	E.E.
MONTE	8.47	50	0.13 A
AG	8.89	50	0.13 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Situación agricultura: Manchón vs Normal**

**Análisis de la varianza PARA CE**

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A	CE	50	0.17	0.15	27.59

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.02	1	0.02	9.83	0.0029
Situacion	0.02	1	0.02	9.83	0.0029
Error	0.08	48	1.8E-03		
Total	0.10	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.02394**

Error: 0.0018 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.	
Normal	0.13	26	0.01	A
Manchon	0.17	24	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
B	CE	50	0.11	0.09	35.54

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.02	1	0.02	5.79	0.0200
Situacion	0.02	1	0.02	5.79	0.0200
Error	0.19	48	3.9E-03		
Total	0.21	49			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.03536

Error: 0.0039 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.	
Normal	0.15	26	0.01	A
Manchon	0.20	24	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C	CE	50	0.11	0.09	31.73

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.03	1	0.03	5.69	0.0210
Situacion	0.03	1	0.03	5.69	0.0210
Error	0.23	48	4.7E-03		
Total	0.25	49			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.03909

Error: 0.0047 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.	
Normal	0.19	26	0.01	A
Manchon	0.24	24	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D	CE	50	0.09	0.07	39.94

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.06	1	0.06	4.60	0.0371
Situacion	0.06	1	0.06	4.60	0.0371
Error	0.60	48	0.01		
Total	0.66	49			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.06365

Error: 0.0125 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.	
Normal	0.25	26	0.02	A
Manchon	0.32	24	0.02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Análisis de la varianza PARA pH

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A	pH	50	0.26	0.24	4.77

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.35	1	2.35	16.50	0.0002
Situacion	2.35	1	2.35	16.50	0.0002
Error	6.82	48	0.14		
Total	9.17	49			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.21460

Error: 0.1422 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.	
Normal	7.70	26	0.07	A
Manchon	8.13	24	0.08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
B	pH	50	0.13	0.11	5.46

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.44	1	1.44	7.31	0.0094
Situacion	1.44	1	1.44	7.31	0.0094
Error	9.45	48	0.20		
Total	10.89	49			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.25252

Error: 0.1969 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.	
Normal	7.97	26	0.09	A
Manchon	8.31	24	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C	pH	50	0.14	0.12	5.01

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.41	1	1.41	7.60	0.0082
Situacion	1.41	1	1.41	7.60	0.0082
Error	8.90	48	0.19		
Total	10.30	49			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.24501

Error: 0.1853 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.	
Normal	8.43	26	0.08	A
Manchon	8.77	24	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Profundidad	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D	pH	50	0.12	0.10	5.46

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.51	1	1.51	6.41	0.0146
Situacion	1.51	1	1.51	6.41	0.0146
Error	11.34	48	0.24		
Total	12.85	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.27660**

Error: 0.2362 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Normal	8.73	26	0.10 A
Manchon	9.07	24	0.10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Situación monte: Árbol vs Gramíneas.**

**Análisis de la varianza**

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A	CE	50	0.16	0.14	48.84

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.20	1	0.20	8.81	0.0047
Situacion	0.20	1	0.20	8.81	0.0047
Error	1.09	48	0.02		
Total	1.29	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.07813**

Error: 0.0228 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Gramineas	0.27	35	0.03 A
Arbol	0.41	15	0.04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
B	CE	50	0.10	0.08	44.91

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.11	1	0.11	5.40	0.0244
Situacion	0.11	1	0.11	5.40	0.0244
Error	0.94	48	0.02		
Total	1.04	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.07225**

Error: 0.0195 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Gramineas	0.28	35	0.02 A
Arbol	0.38	15	0.04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C	CE	50	0.07	0.05	60.62

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.25	1	0.25	3.70	0.0605
Situacion	0.25	1	0.25	3.70	0.0605
Error	3.25	48	0.07		
Total	3.50	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.13464**

Error: 0.0677 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Gramineas	0.38	35	0.04 A
Arbol	0.54	15	0.07 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D	CE	50	0.06	0.04	71.22

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.35	1	0.35	2.86	0.0972
Situacion	0.35	1	0.35	2.86	0.0972
Error	5.93	48	0.12		
Total	6.28	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.18186**

Error: 0.1234 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Gramineas	0.44	35	0.06 A
Arbol	0.62	15	0.09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

**Análisis de la varianza**

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A	pH	50	0.10	0.08	8.60

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.84	1	1.84	5.18	0.0273
Situacion	1.84	1	1.84	5.18	0.0273
Error	17.01	48	0.35		
Total	18.85	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.30811**

Error: 0.3543 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Arbol	6.63	15	0.15 A
Gramineas	7.04	35	0.10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
---------------	----------	---	----------------	-------------------	----

B pH 50 0.04 0.02 10.63

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.08	1	1.08	1.87	0.1781
Situacion	1.08	1	1.08	1.87	0.1781
Error	27.86	48	0.58		
Total	28.94	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.39432**

Error: 0.5804 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Arbol	6.94	15	0.20 A
Gramineas	7.26	35	0.13 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C	pH	50	2.9E-03	0.00	14.74

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.20	1	0.20	0.14	0.7087
Situacion	0.20	1	0.20	0.14	0.7087
Error	67.18	48	1.40		
Total	67.38	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.61236**

Error: 1.3996 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Arbol	7.93	15	0.31 A
Gramineas	8.07	35	0.20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

Profundidades	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D	pH	50	2.6E-03	0.00	13.99

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.18	1	0.18	0.13	0.7247
Situacion	0.18	1	0.18	0.13	0.7247
Error	67.36	48	1.40		
Total	67.53	49			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=0.61315**

Error: 1.4033 gl: 48

Situacion	Medias	n	E.E.
Gramineas	8.43	35	0.20 A
Arbol	8.56	15	0.31 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

**Tabla CE Extracto 1:1**

Table 10-3. The relationship between conductivity and degree of salinity for the 1:1 method and the saturated paste method (after Dahnke & Whitney, 1988).

Texture	Degree of salinity					Ratio EC <sub>1:1</sub> /EC <sub>e</sub>
	Nonsaline	Slightly saline	Moderately saline	Strongly saline	Very saline	
mmhos/cm (dS/m)						
1:1 Method (EC <sub>1:1</sub> )†						
Coarse to loamy sand.	0-1.1	1.2-2.4	2.5-4.4	4.5-8.9	9.0+	~0.56
Loamy fine sand to loam	0-1.2	1.3-2.4	2.5-4.7	4.8-9.4	9.5+	~0.59
Silt loam to clay loam	0-1.3	1.4-2.5	2.6-5.0	5.1-10.0	10.1+	~0.63
Silty clay loam to clay	0-1.4	1.5-2.8	2.9-5.7	5.8-11.4	11.5+	~0.71
Saturated paste (EC <sub>e</sub> )†						
All textures	0-2.0	2.1-4.0	4.1-8.0	8.1-16.0	16.1+	

† EC<sub>1:1</sub> and EC<sub>e</sub>, electrical conductivity of soil water in a 1:1 soil/water mixture and saturated paste extract, respectively.