



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL ZONA ATLANTICA

Tesis para optar el título de grado académico de

Licenciado en Gestión de Empresas Agropecuarias

Tema

**“Estudio del efecto de los nuevos emprendimientos de
regadíos en Norpatagonia sobre la salinidad y propiedades
física del suelo”**

TESISTA: Sergio Eduardo Quichán.

DIRECTOR: Ing Agr (Dr). Roberto Simón Martínez

Río Negro, Viedma 10 de Noviembre del 2014

DEDICATORIA

A mis padres José y Rosalía, que son la base de mi vida, por quienes soy lo que soy por los que cada día me esfuerzo para ser su orgullo. A mis Hermanos y hermanas, quienes con su amor y cariño me han enseñando a ser mejor persona, y para mi sobrinita Julieta a la cual admiro.

DECLARACIÓN

Yo; Quichán Sergio Eduardo declaro que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Quichán Sergio Eduardo

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a mi director Ing Agr (Dr) Roberto Simón Martínez, por el tiempo dedica, consejo y compromiso para la finalización de la tesis.

Al Lic (Dr) Daniel Alejandro Barrio e Ing Agr María Fany Zubillaga, por sus consejos, aportes y aliento constante.

Al Lic Esquercia Walter y Téc Rossetti Carla, quienes colaboraron desinteresadamente en la escritura y correcciones.

Al laboratorio de la UNRN que me dio la posibilidad de realizar todos los análisis de suelo.

A los integrantes del laboratorio L.A.C.A.R (UNCo), quienes me enseñaron y aconsejaron desde el comienzo.

A Hugo Subelza y Román José Luis, por sus incansables aportes en el trabajo de campo.

A Ing Polo Susana, Lic Luna Martín y Lic Gibeli Tatiana, por el asesoramiento en los análisis estadísticos de los datos.

A mis amigos Marco Quilaleo, Oscar Pérez, Diego Millanta, Héctor Huenchupan y Carla Rossetti, por los buenos momentos compartidos en el transcurso del tiempo.

Al Técnico Cristian Musi, por su aporte en los datos climáticos.

A los dueños del establecimiento Kaitaco, por permitir realizar este trabajo en su campo en forma desinteresada.

A la profesora Sonia Pérez del Centro Documental de la EEA Valle Inferior Convenio INTA-Provincia de Río Negro por las búsquedas bibliográficas.

A los Ing Agrs: Reinoso Lucio y Margiotta Francisco, por sus consejos.



A mis padres por su confianza y apoyo durante todo este tiempo transcurrido.

Resumen

Sobre nuevos emprendimiento de riego sobre el Río Negro, se plantea evaluar el efecto del riego sobre la calidad de los suelos. Se evaluó un sitio con riego por aspersión (pivote central), ubicado sobre el valle de General Conesa provincia de Río Negro. Se realizaron determinaciones de propiedades físicas y químicas de los suelos, así como también la uniformidad de aplicación de agua y lamina aplicada. Se plantea la hipótesis que los suelos de las zonas áridas y semiáridas, regados por un sistema presurizado (Pivote Central) y con drenaje natural, tendrán diferencias significativas en las propiedades físicas y químicas del testigo con el que está en plena actividad productiva. Los resultados muestran que no hay aumento de la RAS ni del pH en zonas de regadas vs sitios prístinos. Si se identifica una disminución de la conductividad eléctrica. Se concluye que para la situación estudiada en ese equipo no hay indicadores del suelo que muestren que está afectando a ese recurso.

Índice:

CAPITULO I

1-El problema	pág.1
1.2-Hipótesis	pág.5
1.3-Objetivos	pág.5
1.3.1-Objetivos Generales	pág.5
1.3.2-Objetivos Específicos	pág.6
1.4-Justificación	pág.6

CAPITULO II

2-Marco Teórico	pág.7
2.1-Zonas áridas y semiáridas	pág.7
2.1.1-Definición de tierras áridas.....	pág.7
2.1.2-Degradación de las tierras en zonas áridas.....	pág.8
2.2-La importancia del riego	pág.9
2.2.1-Importancia y difusión de los suelos salinos y sódicos. Su relación con el riego.....	pag.11
2.3-Calidad de agua para riego	pág.14
2.4-Efecto de la salinidad y sodicidad sobre las características de los suelos	pág.17
2.4.1-Efecto sobre la estructura	pág.17
2.4.2-Efecto sobre el espesor de la doble capa difusa y sobre la cohesión.....	pág.20

2.5-Riego por aspersión mediante pivote central pág.22

CAPITULO III

3-Materiales y métodos pág.24

3.1-Características del área de estudio pág.24

3.1.1-Localización geográfica pág.24

3.1.2-Clima pág.26

3.2-Sitios de estudio y diseño experimental pág.27

3.2.1-Clasificación Taxonómica de suelos bajo estudio pág.28

3.2.2-Tipo de suelo de acuerdo a su clasificación textural pág.29

3.3-Características generales del sistema de riego pág.29

3.4-Caraterísticas de la parcela de ensayo pág.32

3.4.1-Ubicación parcelaria pág.32

3.4.2-Recurso agua pág.32

3.4.3-Característica del funcionamiento del equipo pág.33

3.5-Selección de los sitios de muestreo pág.33

3.6-Obtención de la muestra de suelo pág.33

3.7-Localización de los sitios de muestreo pág.34

3.8-Análisis de la muestra de suelo..... pág.35

3.9-Obtención de la muestra de agua..... pág.35

4- Metodología pág.36

4.1-Preparación de la muestra de suelo para sus respectivas determinaciones.....	pág.36
4.1.2-Descripción de los métodos usados	pág.38
4.1.2.1-Determinación de pH	pág.38
4.1.2.2-Conductividad Eléctrica en pasta de saturación	pág.39
4.1.2.3-Determinación de sodio y potasio por fotómetro de llama	pág.40
4.1.2.4-Determinación de Calcio y Magnesio por complexometría con EDTA	pág.41
4.1.2.5-Determinación de Cloruros	pág.43
4.1.2.6-Determinación de Carbonato y Bicarbonato	pág.44
4.1.2.7-Determinación de Sulfatos.....	pág.45
4.1.2.8-Determinación de la RAS.....	pág.45
4.2.1.9-Determinación de Materia Orgánica (Walkey y Black) ..	pág.46
4.1.2.10-Determinación de textura (pipeta de Robinson).....	pág.46
4.1.2.11-Determinación de densidad aparente	pág.50
4.1.2.12-Determinación de infiltración	pág.51
5-Toma de muestra por método pareado.....	pág.54

CAPITULO IV

6-Resultados.....	pág.55
6.1-Evaluación de riego.....	pág.55

6.2-Contenido de Humedad	pág.56
6.3-Contenido de Materia Orgánica %	pág.58
6.4-pH del suelo	pág.59
6.5-Salinidad del suelo	pág.61
6.5.1-Conductividad eléctrica y sales totales	pág.61
6.5.2-Concentración de la Relación Adsorción Sodio en el suelo (RAS)	pág.62
6.6-Densidad aparente e infiltración	pág.64
6.6.1-Infiltración	pág.66

CAPITULO V

7-Discusión.....	pág.72
------------------	--------

CAPITULO VI

8-Conclusiones.....	pág.77
---------------------	--------

CAPITULO VII

9-Bibliografía	pág.78
----------------------	--------

Índice de Figuras:

Figura 1. Evapotranspiración del cultivo Vs precipitación efectiva	
.....	pág.4
Figura 2. Equipo de riego en cultivo de maíz (Zea maíz) en Kaitaco	
.....	pág.23
Figura 3. Imagen satelital Google earth de la ubicación (Kaitaco)	
.....	pág.24
Figura 4. Imagen Google earth de la zona bajo estudio	pág.25
Figura 5. Foto equipo de riego en el sector de estudio (Zea maíz).....	
.....	pág.25
Figura 6. Departamento Provincial de Agua y E. R. H (2014)....	pág.27
Figura 7. Foto de pluviómetro y medición de los milímetros recogidos por probeta (Kaitaco, marzo 2013)	pág.30
Figura 8. Imagen satelital de la ubicación de la parcela bajo estudio ...	
.....	pág.32
Figura 9. Imagen satelital de los sitios de muestreo	pág.35
Figura 10. Foto de la muestra de suelo seco y tamizado por malla de 2000 micra	pág.37
Figura 11. Foto de preparación de la pasta de saturación y obtención de extracto	pág.37
Figura 12. Foto de pHmetro de mesa	pág.39
Figura 13. Foto de conductímetro de mesa	pág.40

Figura 14. Foto del fotómetro de llama	pág.41
Figura 15. Foto de titulación con EDTA	pág.43
Figura 16. Foto textura por método de la pipeta de Robinson ...	pág.49
Figura 17. Triangulo textural (Soil Survy Manual-USDA)	pág.50
Figura 18. Foto de permeámetro de disco	pág.53
Figura 19. Distribución de lámina de agua en (mm) por cada tramo del pivote	pág.56
Figura 20a. Contenido de humedad gravimétrica	pág.57
Figura 20b. Contenido de humedad gravimétrica por profundidad	pág.58
Figura 21. Contenido de materia orgánica en porcentaje	pág.59
Figura 22a. Contenido de pH en suelo por sitios	pág.60
Figura 22b. Contenido de pH por profundidad	pág.61
Figura 23. Contenido de sales totales mediante la C.E.	pág.62
Figura 24a. Contenido de la RAS en el suelo entre los sitios	pág.63
Figura 24b. Muestra la RAS por profundidad	pág.64
Figura 25. Muestra la densidad aparente	pág.65
Figura 26a. Muestra la infiltración por grupos	pág.67
Figura 26b. Muestra la infiltración por grupos	pág.69
Figura 26c. Muestra la infiltración por grupos	pág.70

Índice de Tablas:

Tabla 1. Calidad de agua para riego	pág.36
Tabla 2. Clasificación de suelos mediante la conductividad eléctrica	pág.40
Tabla 3. Densidad aparente a distintas profundidades	pág.65
Tabla 4a. Parámetro de la ecuación de Kostiakov en los grupos..... (2, 3 y 4)	pág.66
Tabla 4b. Parámetro de la ecuación de Kostiakov en los grupos..... (1, 5 y 6)	pág.68



CAPITULO I

1) El problema

La actual política agrícola en la Argentina y de la provincia de Río Negro plantea un aumento de las áreas de regadío, según el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (Diario la Palabra, 2014). Frente a esto, es importante evaluar aspectos relacionados con la sostenibilidad de los sistemas de producción. Esta sostenibilidad se entiende como la capacidad de los sistemas agrarios de mantenerse productivos durante un periodo prolongado de tiempo. Este concepto fue introducido en el conjunto de relaciones formales y reales que conectan la economía y la naturaleza de forma relativamente reciente (Lopez, 1996). La agricultura sostenible contempla tres aspectos fundamentales (Jiménez, 1998):

- Conservación de los recursos naturales y protección del medio ambiente.
- Viabilidad económica.
- Equidad social.

Estos tres aspectos pretenden alcanzar un objetivo común, la permanencia en el tiempo de una actividad agrícola capaz de alimentar a la población mundial. Por lo tanto se consideran de importancia los trabajos conducentes a evaluar y obtener parámetros del primer componente mencionado, que ayuda a integrar estudios de viabilidad económica y equidad social.

Existe un importante movimiento, que progresivamente se ha ido arraigando en la sociedad, que plantea una política de desarrollo respetuoso con los recursos naturales (Zimmerman, 1976).

La solución al desafío de alimentar una población mundial en rápido crecimiento se plantea por medio del incremento y



mejora de los regadíos, constituyendo lo que algunos autores han denominado revolución azul (Oweis, 1994).

El término azul puede explicarse teniendo en cuenta el concepto de huella hídrica.

El concepto de huella hídrica ayuda a visualizar el uso del agua en la cadena de producción de los productos, bienes o servicios y ayuda a comprender los efectos del consumo y el comercio en la crisis del agua (Hoekstra y Hung, 2002); este concepto hace la distinción entre las fuentes de agua que se utilizan durante la producción clasificándola en tres colores; verde, azul y gris. *Huella hídrica verde*, se refiere al consumo de los recursos de agua de lluvia que no se convierte en escorrentía; *huella hídrica azul*, se refiere al consumo de los recursos de agua superficial y subterránea a lo largo de la cadena de suministro de un producto. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, vuelve a otra área de influencia o en el mar o se incorporen a un producto; *huella hídrica gris*, se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminación hasta concentraciones naturales y según las normas de calidad ambiental.

Por lo tanto la huella hídrica verde está relacionada con el agua de secano y la huella hídrica azul con el agua de riego.

El agua como elemento esencial está presente en todas las actividades humanas y es por esto que la demanda y la utilización se ha incrementado, al igual que su contaminación y su escasez.

Esta demanda encuentra su origen en actividades como la agricultura y la industria; y las labores domésticas; su consumo a nivel mundial se ve reflejada de la siguiente manera; (69% para el sector agrícola, 23% para el sector industrial y 8% para el sector doméstico).



Si bien esta cifra puede variar dependiendo de los países, en aquellos países donde la actividad agrícola es la principal actividad económica, hay preocupación al observar las cifras generadas por el uso del agua para la agricultura.

Un incremento de producción conseguido por el riego deberá estar asociado con una creciente tecnificación y dependencia de agua, fertilizante y energía, ante lo cual su optimización adquiere una gran relevancia (Lookeretz, 1997; Loonis y Connor 1995). La toma de decisiones en el campo del uso de los recursos naturales afecta, directamente o indirectamente, a toda la población.

En la región donde se encuentra el sitio de estudio de este proyecto los valores de precipitación anual media se encuentran entre los 250 mm y 400 mm. La evapotranspiración de referencia (ET_o) es superior a los 1000 mm, esto asociado a que la distribución de las lluvias marca mayores precipitaciones en otoño y primavera, muestra la imposibilidad de realizar cultivos de verano sin la aplicación de riego.

A modo de ejemplo en la figura 1, se observan las necesidades del cultivo de maíz frente a la precipitación efectiva. Se observa que es imposible este cultivo, así como muchos cultivos de verano, se desarrollen sin el aporte de agua de riego.

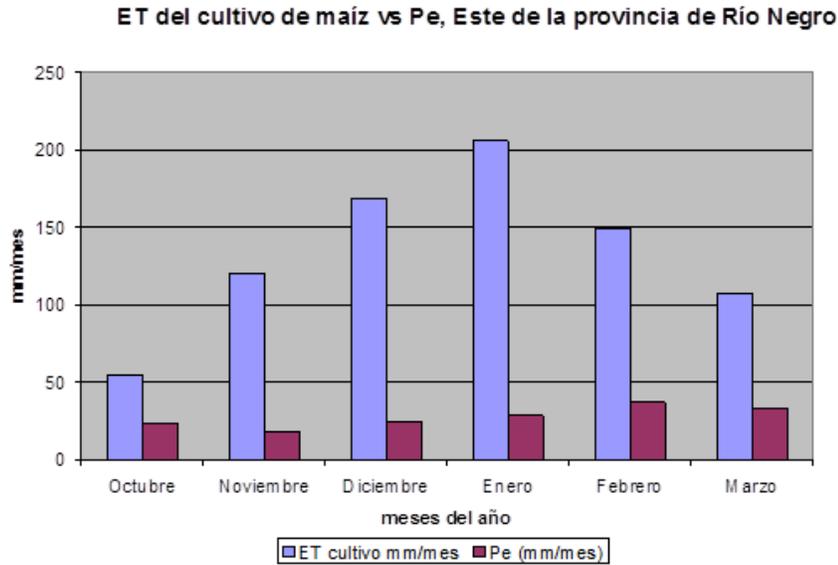


Figura 1: *Evapotranspiración del cultivo Vs precipitación efectiva*

En el riego por aspersión es importante conocer parámetros de uniformidad de aplicación del riego (Christiansen, 1942; Keller y Bliesner, 1990; Tarjuelo, 1999), de manera que los estudios de dinámica de las sales en el suelo estén dentro de una situación de desempeño de riego conocida.

Se considera que el impacto de conocer parámetros de suelo posteriores a la puesta en riego en determinado suelo va a ser importante en tomas de decisiones a distinto niveles como información básica para evaluar nuevos emprendimientos y la forma de continuar en los ya iniciados. En la región de estudio el potencial de áreas a regar es superior al área con el riego actual (Casamiquela, 1995), por lo que es una situación de importancia regional, sumado esto, a las políticas provinciales que marcan la intención de poner una mayor superficie bajo riego (Diario La Palabra, 2014).



La forma de abordar el problema es mediante estudio de una parcela con riego por aspersión, ubicado en el Valle de General Conesa. Se realizarán determinaciones de las propiedades de los suelos dentro del pivote de riego y fuera del mismo, en el monte sin regar.

1.2) Hipótesis

Los suelos de las zonas áridas y semiáridas, regados por un sistema presurizado (Pivote Central) y sin drenaje artificial, tendrán diferencias significativas en las propiedades físicas y químicas entre suelo testigo y suelo regado.

1.3) Objetivos

1.3.1) Objetivo General

El objetivo de este trabajo es determinar los parámetros físicos y químicos en áreas de estudio de nuevos emprendimiento de regadío, evaluando diferencias entre una situación inicial o de seco próximo y la situación bajo riego. Para ajustar herramientas que permitan aportar a la mejora de la aplicación del agua de riego y a conservar o mejorar el recurso suelo.



1.3.2) Objetivos Específicos

- Caracterizar la zona de estudio y el riego.
- Determinar y evaluar la evolución del contenido de sales totales, el contenido relativo de sodio y el porcentaje de materia orgánica (%MO).
- Determinar las principales propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente e infiltración), comparando dicha infiltración dentro y fuera del pivote.

1.4) Justificación

Frente a la hipótesis de trabajo sobre el deterioro de las propiedades fisicoquímicas de los suelos se plantean evaluaciones de uniformidad de riego, en el sitio bajo estudio, con un equipo de pivote central y determinación de propiedades físicas del suelo para relacionar y explicar, los eventuales cambios producidos.



CAPITULO II

2) Marco Teórico

2.1) zonas áridas y semiáridas

2.1.1) Definición de tierras áridas

Según la (UNEP, 1992) alrededor del 42 por ciento de la superficie de la tierra puede catalogarse como tierras áridas. Se consideran tierras áridas aquellas donde el promedio de precipitación es menor que la pérdida potencial de humedad a través de la evaporación y la transpiración. De acuerdo con el Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1992), las tierras áridas tienen una relación de precipitación (P) respecto a la evapotranspiración potencial (ETP) menor de 0,65.

En las zonas en que prevalece el déficit de agua a lo largo de todo el año, las tierras áridas se clasifican como extremadamente áridas o hiperáridas, mientras que cuando no ocurre en todo el año se catalogan como regiones áridas o semiáridas. La aridez se evalúa sobre la base de las variables climáticas (conocidas como índice de aridez), o de acuerdo con la FAO, sobre la base de cuántos días el balance de agua permite el crecimiento de la planta (estación de crecimiento). El índice utiliza la relación entre precipitación y la evapotranspiración potencial (P/ETP), para clasificar las tierras áridas en hiperáridas, áridas, semiáridas y secas subhúmedas.

El balance negativo entre la precipitación y la evapotranspiración da como resultado un período corto de crecimiento de los cultivos (usualmente, menor a 120 días).

Las sequías son características de las zonas áridas y pueden definirse como períodos de (1 – 2 años) en los que las lluvias



se encuentran por debajo del promedio. Las sequías que persisten durante una década o más se conocen como desecación, las cuales tienen consecuencia desastrosas sobre la productividad de las tierras y la pérdida de la vegetación. La preparación contra la sequía y la mitigación de sus riesgos son aspectos esenciales para un manejo adecuado de las tierras áridas.

2.1.2) Degradación de las tierras en zonas áridas

La desertificación ocurre a partir de la degradación de los ecosistemas naturales en las tierras áridas y constituyen un importante problema global (UNEP, 1992).

La degradación puede ser:

- Física, principalmente originada por factores climáticos, tales como las inundaciones y sequías que causan erosión del suelo (eólica e hídrica),
- Química, generalmente en forma de salinización (en zonas con riego),
- Biológica, pérdida de la cobertura vegetal y como consecuencia disminución de la materia orgánica, disminución o pérdida de los organismos beneficiosos del suelo (Falcón, 2002).

Las consecuencias principales de la degradación de la tierra áridas son, degradación química del suelo, pérdida de cubierta vegetal, disminución en la capacidad de infiltración de la capa superficial del suelo, reducción de almacenamiento de agua en el suelo, pérdida de materia orgánica, fertilidad y estructura, pérdida de elasticidad del suelo, pérdida de la regeneración natural y disminución de la capa freática.



La desertificación puede prevenirse a través de un manejo adecuado para asegurar el desarrollo sostenible de sus recursos. Naciones Unidas 1994 acordaron acciones estratégicas para el control de desertificación, tales como; protección de la cubierta vegetal para proteger los suelos de la erosión, mejorar la conservación del agua mediante manejos adecuados, aplicar cultivos de cobertura para disminuir la pérdida por escorrentía y evaporación, riego suplementario, manejo de fertilidad del suelo para mejorar la productividad de la biomasa, incremento de usos de agua y mejora en la calidad del suelo, sistemas agrícolas mejorados que incluyen la rotación de cultivos, barbecho, etc.

2.2) La importancia del riego

El agua es un elemento fundamental para la vida y tanto el déficit como el exceso hídrico pueden alterar la vida del hombre, los animales y las plantas. Los ambientes caracterizados por su déficit, como son las regiones áridas o semiáridas, o aquellos que sufren exceso, plantean dificultades y severas limitaciones para la vida humana, el crecimiento de las plantas y la producción agropecuaria en general (Vázquez, 2003).

El hombre lleva muchos años regando en las regiones áridas, pero en los últimos años también ha crecido notablemente el interés por la irrigación suplementaria en regiones húmedas con la finalidad de aumentar el rendimiento y la estabilidad de rendimientos de los cultivos. La irrigación es costosa, pero también lo es el fallo de las cosechas. Se tiende a regar los cultivos que dan productividad más valiosa porque son los que con mayor facilidad compensan los gastos del riego. Sin embargo, muchos agricultores provistos de un suministro de agua conveniente, han comprobado que la irrigación es



rentable e incluso con los cultivos extensivos ordinarios. (Chambouleyron, 1980).

Wiednfeld y Enciso (2006) afirman que con la expansión de la población y la industria, el agua para riego se torna cada vez más limitante. Chambouleyron, (1980) sostiene que el recurso hídrico está cada día más comprometido, por lo que el uso adecuado del agua se ha vuelto más importante. Esto ha determinado que en lugares en los que en algunos momentos el recurso era abundante hoy no lo sea y lo mismo sucederá en algunos otros en donde actualmente el recurso abunda. Es por ello que se piensa que en un futuro próximo, la expansión de la agricultura de regadío no se podrá realizar usando más agua sino usando mejor el agua y deberá realizarse un gran esfuerzo a nivel técnico para mejorar los niveles de aprovechamiento del recurso. Das *et al.* (2006) afirman que la rápida degradación del suelo, la pérdida de la masa de suelo y la disminución de las reservas de agua dulce son los mayores impedimentos de la agricultura. No obstante, para alimentar a millones de seres humanos es necesario prosperar en término de cantidad y calidad de producción y para alcanzar dicho objetivo la expansión de la agricultura de regadío es un requisito necesario.

La población mundial está en crecimiento, lo que demandará un aumento en la producción de alimentos y fibras. Se prevé que en las próximas décadas, el incremento de las 2/3 partes de las superficies arable se producirá incorporando nuevas áreas desérticas mediante la irrigación. Las superficies irrigadas, representan aproximadamente el 15% de las tierras cultivables en la actualidad y producen el 36% de los productos alimenticios mundiales. Esto demuestra la importancia de esta práctica (Vázquez 2003). De acuerdo a datos de la FAO (2006) el porcentaje de tierras arables regadas aumento de un 16% en 1980 a un 20% en 2002 con 277×10^6 has.



No obstante el enorme esfuerzo tecnológico que se ha desarrollado últimamente para el riego y la experiencia acumulada, quedan aún enormes brechas tecnológicas para desarrollar. El peligro que aparece sobre toda área regada es la salinización y sodificación del suelo, así como del acuífero subterráneo. (Chambouleyron, 1980).

De acuerdo a Scher (1999), estudios globales recientes estiman que la calidad del suelo en el 75% de los terrenos agrícolas, se ha mantenido relativamente estable desde mediados del siglo XX. Sin embargo en el 25% restante, la degradación ha avanzado en los últimos 50 años a un ritmo acelerado, entre 5 y 13 millones de hectáreas por año. Davis (2006) afirma que la degradación del suelo es un problema mundial de importancia considerable y establece que el 40% de las tierras cultivadas se encuentran seriamente degradadas. Las fuentes de esta degradación incluyen la erosión del suelo, la pérdida de materia orgánica, encostramiento, la contaminación química, la reducción de nutrientes y el exceso de salinidad.

2.2.1) Importancia y difusión de los suelos salinos y sódicos. Su relación con el riego.

Lentz *et al.* (1996) estimaron para mediados de la década del 90 la superficie mundial bajo riego, en alrededor de 250×10^6 has. Gran parte de esta superficie se halla afectada en su productividad. La expansión anual de la práctica de riego ha ido disminuyendo en las últimas décadas, estimándose en la actualidad una expansión de alrededor del 1% anual. La razón de ello sería la combinación de varios factores, su alto costo, su manejo ineficiente, y la degradación de los recursos naturales suelo y agua (Rhoades, 1997).



Según Umali (1993) citado por Rhoades (1997), la salinización de las tierras bajo riego crece a razón de 1 a 2 x10⁶ has/año. Ghassemi *et al* citado por Rhoades (1997), realizó una extensa revisión sobre la salinización del agua utilizada por el riego, lo que conduce a la salinización de las napas y de los curso superficiales, aguas abajo en las cuencas hidrográficas. Esta revisión demostró que este fenómeno también está ampliamente difundido.

Tanto en la antigüedad como en la actualidad, regiones agrícolas muy fértiles se tornaron totalmente improductivas a consecuencia del riego. Extensas áreas del Mediterráneo, tanto en países europeos como africanos, regiones áridas asiáticas y americanas, por ejemplo en los EEUU, sufrieron severos deterioros de la fertilidad química y física de los suelos a causa de un mal empleo de esta práctica (Ayers y Westcot, 1987).

Vincent *et al* (2006) afirman que la salinidad de los suelos se encuentra presente en la mayoría de los esquemas de riego alrededor del mundo bajo los efectos conjuntos de baja calidad del agua de riego, aridez y falta de drenaje natural de los suelos y acuíferos. Mientras que los productores pueden controlar la salinidad con distintos manejos (entre otros lavado de suelo), el peligro de sodicidad es más difícil de comprender y manejar. La salinización es la consecuencia de varios procesos complejos de redistribución de sales que depende de las condiciones naturales, características del sistema, prácticas agrícolas y manejo del riego y del drenaje. Amiotti y Bravo (2006) señalaron que a pesar del escaso tiempo transcurrido desde que parte de la tierra del Valle del Río Colorado en Argentina, ha sido liberada al riego por gravedad, se han observado evidentes signos de deterioro del recurso entre los que se citan degradación física superficial y subsuperficial con génesis de densipanes, erosión eólica e hídrica, elevación freática, presencia de manantiales de agua salinas y salinización y alcalinización de la freática y de los suelos



endosaturados con posterior abandono de tierras. Según Prasad *et al* (2006) el riego induce la elevación de la napa freática y la salinidad siendo estos los principales factores que conducen a la declinación de los rendimientos de los cultivos en el Estado de Andhra Pradesh, India. El impacto del riego continuo a lo largo de los años ha causado en este lugar el ascenso de la napa freática hasta la zona de raíces llevando a una reducción de los rendimientos. Singh *et al.* (2006) afirman que los suelos sódicos ocupan extensas áreas y aparecen en todo el globo. La recuperación de los suelos sódicos es un problema costoso y requiere la utilización adicional de enmiendas cálcicas, agua e infraestructura para drenaje. Qadir *et al.* (2006) afirman que los suelos sódicos, tienen problemas de fertilidad y degradación de sus propiedades físicas.

De acuerdo a Zinck (2000), cerca del 20% del total de tierras irrigadas son afectadas por sales y esta proporción tiende a incrementarse. El total de superficie afectada por salinización primaria alcanza 955 millones de has y la afectadas por salinización secundaria totalizan 77 millones de has encontrándose el 58% de estas últimas en zonas irrigadas. Wong *et al.* (2006) afirman que aproximadamente 932 millones de has de tierras alrededor del mundo se encuentran degradadas por salinidad y sodicidad, usualmente coincidente con la tierra usadas por la agricultura.

La salinidad – alcalinidad de los suelos causada por actividades humanas es un perjuicio ambiental significativo que resulta en un incremento de los riesgos ecológico a la biosfera, limita el potencial agroecológico para el desarrollo sustentable (Varallyay, 2002).

Se espera que los problemas asociados con suelos salinos y sódicos se incrementen en el futuro debido al empobrecimiento de la calidad el agua para riego como consecuencia



del uso de las aguas de buena calidad para consumo humano e industrial (Levy, 2000).

2.3) Calidad del agua de riego

La creciente necesidad de proveer alimento a una población en crecimiento, junto con el incremento de la demanda de aguas de buena calidad para uso urbano e industrial resulta en un empobrecimiento de la calidad de las aguas y suelo para la producción. De acuerdo a datos de la FAO (2006) en la distribución del uso de agua por el hombre corresponde un 70% a la agricultura, 20% a la industria y 10% al consumo doméstico.

La calidad del agua para riego según numerosos autores, entre ellos Richards (1956), Suarez (1981), Pizarro (1985), Ayers y Westcot (1987), se define en función de tres parámetros: salinidad en sentido restringido, sodicidad y toxicidad. A pesar de la aparente uniformidad de criterios para calificar el agua de riego, los diferentes autores emplean distintas escalas, relaciones entre parámetros y cálculos de indicadores de estos parámetros. Es que, en cada caso, esta diferencia surja de la naturaleza particular de los sistemas productivos y edafo-climáticos a partir de los cuales se originan estos criterios (Vazquez, 2003). Un sistema de clasificación muy difundido y utilizado es el elaborado por el laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Richards, 1956).

Para cuantificar la salinidad la literatura científica ha coincidido en la utilización de la conductividad eléctrica (CE). Sin embargo existe una notable discrepancia acerca de los umbrales críticos de la misma. Singh *et al.* (1996) reconocieron la necesidad de evaluar la CE crítica discriminado entre las diferentes condiciones de



textura, precipitación y tolerancia de los cultivos a la salinidad. Según el criterio desarrollado por estos autores, en las condiciones más adversas, se dan con alto contenido de arcilla (>30%), cultivos sensibles a la salinidad y menos de 350 mm año⁻¹ de precipitación. Consideraron admisibles aguas de hasta 1 dsm⁻¹ de CE. Así establecieron una serie de valores máximos de acuerdo a las diferentes combinaciones de los parámetros discriminatorios hasta la situación extrema de suelo con menos de 10% de arcilla, con cultivos tolerantes a la salinidad y con una precipitación de menos de 550 mm por año, donde aceptaran como aguas aptas a aquellas con CE de hasta 12 dSm⁻¹.

De acuerdo a Dos Santos *et al.* (2006) los efectos adversos de la salinidad varían con las especies vegetales y el estado de desarrollo, con el tiempo de exposición y la concentración salina, y con la naturaleza de las sales presentes en el medio de crecimiento.

Desde el punto de vista de la sodicidad, la problemática es a un más compleja. Investigadores del laboratorio de Salinidad de Riverside, California reconocieron la necesidad de evaluar el riesgo potencial del daño causado por el contenido de sodio del agua, a través del contenido relativo de este catión respecto del calcio y del magnesio. Esta medida ha sido denominada "Relación de Adsorción de Sodio" (RAS) y es comparable a la utilización en extractos de saturación de suelo. El RAS posee la siguiente expresión de cálculos
$$RAS = [Na^+] / \{ [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] / 2 \}^{1/2}.$$

La capacidad de intercambio de un catión depende tanto de las propiedades de dicho catión como de los intercambiadores del suelo. El sodio por su baja carga, elevada capa de hidratación y baja polaridad, es poco retenido por el complejo de intercambio, representado principalmente por arcillas y materia orgánica. En la medida que aumenta la cantidad de sodio



intercambiable deriva en sistema con tendencia a la dispersión coloidal, susceptibilidad a la erosión, una arquitectura porosa intrincada e inestable con la consiguiente mala circulación del agua y los gases del suelo. Frente a este comportamiento, otros iones como calcio y en menor medida magnesio, fundamentalmente por su carga, se manifiestan como elemento agregantes, causantes de un estructura edáfica muy apropiado para el crecimiento de las plantas (Richards, 1956; Suarez, 1981). Es decir que la calificación de la peligrosidad sódica del agua no puede utilizar como único criterio evaluador el contenido de sodio, sino que necesariamente debe cuantificar dicho contenido relativizándolo respecto de otros iones, fundamentalmente calcio y magnesio. Estos conceptos han sido ampliamente aceptados, sin embargo, tanto la expresión de esa relación como los umbrales calificadorios, y aún más la necesidad de confrontar dicho umbrales con otras propiedades del agua e incluso propiedades edáficas, son controvertidos (Richards, 1965; Suarez, 1981; Pizarro, 1985; Ayers y Wescot, 1987; Minhas y Gupta, 1992).

Un factor reconocido como importante en la evaluación del peligro de sodificación causada por el agua de riego, ha sido el contenido salino general de dicha agua (Richards, 1956; Suarez, 1981; Pizarro, 1985; Ayers y Wescot, 1987; Minhas y Gupta, 1992). Inicialmente el Laboratorio de Salinidad de los EEUU (Richards, 1956) estableció que a mayor salinidad del agua, un mismo valor de RAS implica mayor contenido de sodio, catión dominante en las sales de mayor parte de las aguas. Atendiendo a este razonamiento, a una determinada RAS, mayor es el peligro de sodificación a mayor CE. Ayers y Wescot (1987) advirtieron que si bien es cierto que a mayor salinidad existiría mayor contenido de sodio en el suelo, la incidencia adversa del mismo en el suelo podría estar controlada por el contenido salino. Si se reconoce que el mayor efecto perjudicial del sodio es la dispersión de los coloides, debe reconocerse también que



una mayor salinidad tiende a la floculación de dichos coloides, contrarrestando su efecto más eficientemente en aguas de mayor salinidad. A partir de estos conceptos la FAO elaboró un nuevo sistema clasificatorio de calidad del agua de riego (Ayers y Wescot, 1976) teniendo en cuenta estos efectos contrastantes.

Estos antecedentes fundamentan la necesidad de estudiar el parámetro de calidad del agua de riego en conjunto con los parámetros edáficos para evaluar la potencialidad del riesgo de salinización y/o sodificación y sus consecuencias sobre el ambiente edáfico y su capacidad productiva.

2.4) Efecto de la salinidad y sodicidad sobre las características de los suelos

2.4.1) Efecto sobre la estructura

La unión de las partículas en agregados da origen a una arquitectura porosa, por donde circula el agua hacia las capas más profundas eliminando los excesos y renovando los gases del suelo a través de su intercambio con la atmósfera. Esto permite la difusión del oxígeno necesaria para la respiración de las raíces y los microorganismos benéficos, y la salida de otros gases, fruto de la actividad biótica del ambiente edáfico. Cuando el contenido de sodio se eleva, las partículas sólidas pierden su agregación (debido al deterioro de la estructura que este elemento causa a consecuencia de su naturaleza dispersante sobre los coloides), se rompe la red de poros y se altera la normalidad de estos acontecimientos (Vázquez, 2003). Ardakani y Zahirnia (2006) afirmaron que una de las características importantes de suelos áridos y semiáridos es la débil estructura con malas propiedades físico-químicas, esto incrementa la dispersión y la tasa de erosión del suelo. Kaur *et al.* (2006)



estudiaron el efecto de 14 años de riego con aguas sódicas con diferentes niveles de yeso y enmiendas orgánicas sobre un suelo franco - arenoso en producción de trigo y arroz. El riego a largo plazo con aguas sódicas deterioro significativamente propiedades del suelo como el pH, conductividad eléctrica del extracto de saturación, porcentaje de sodio intercambiable, relación de adsorción de sodio del extracto de saturación, densidad aparente y tasa de infiltración final del suelo. Gupta (2006) señala que los suelos sódicos no solo se encuentran física y químicamente degradados sino también biológicamente degradados. Debido a la baja carga de microorganismos heterotróficos, el poder de descomposición de la materia orgánica de los suelos sódicos es considerablemente menor que el de los suelos normales. Rashid (2006) afirmo que la alta alcalinidad y/o salinidad disminuye la actividad microbial y por lo tanto la tasa de mineralización de fertilizantes nitrogenados.

Los procesos de agregación del suelo decrecen considerablemente (particularmente durante el humedecimiento) como resultado de la dispersión de la arcilla o desintegración de agregados. Ambos fenómenos originan el encostramiento y endurecimiento de la superficie del suelo. Esto incrementa la resistencia del suelo y disminuye la tasa de infiltración, la porosidad y la germinación (Barzegar *et al.*, 1994). Cucci *et al.*, (2006) afirmaron que la degradación de la estructura del suelo depende en medida de la calidad del agua de riego, el tamaño de las arcillas. Dichos autores evaluaron la estabilidad de los agregados de dos tipos de suelo sometidos a 4 años de riego con 9 tipos de soluciones salinas – sódicas y luego tratados por años con yeso. La estabilidad estructural se redujo significativamente con el incremento de la salinidad y sodicidad del agua del riego aplicada. Las técnicas de recuperación con yeso determinaron una mejora en el índice de estabilidad estructural.



La alteración de la geometría de los poros del suelo afecta la permeabilidad intrínseca del mismo, la retención de agua y la productividad de los cultivos. Numerosos autores ha demostrado la incidencia de la sodicidad en el cambio de la arquitectura porosa de los suelos. Varallyay (2002) detalla la influencia de la salinidad – alcalinidad de los suelos sobre sus propiedades físico – mecánicas señalando que un alto porcentaje de sodio intercambiable (PSI) ocasiona un aumento de la tasa de hidratación de las partículas y del fenómeno de expansión – retracción-rotura, conduciendo al aumento de la dispersión, destrucción de la estructura y rotura de agregados. Al mismo tiempo se altera la distribución del tamaño de poros, disminuyendo la proporción de poros gravitacionales y aumentando la microporosidad con el consiguiente aumento de la retención de agua, disminución de aireación, de la conductividad hidráulica y del drenaje natural. Esta significativa modificación de la estructura y más concretamente de la conformación del espacio poroso, modifica la compactabilidad de los suelos.

Costa y Aparicio (2000) afirman que suelos con alto contenido de sodio se dispersan causando un colapso en los macro y microporos, reduciendo el movimiento de los gases y agua. Estos problemas asociados con la inestabilidad estructural producen erosión (por el aumento de la escorrentía), dificultad en la preparación de la cama de siembra y pobre establecimiento de planta (por problema de encostramiento).

Irutia y Mon (1998) afirmaron que la disminución de la permeabilidad en suelo de secano es prácticamente irreversible o de reversibilidad limitada, lo cual se atribuye a cambios de la matriz sólida del suelo causados por el hinchamiento, agregación defectuosa, dispersión, o varias de estas causas actuando simultáneamente.



Ferrer y Ourracariet (1996) atribuyen que con baja CE y alto niveles de RAS se reduce la infiltración del agua, posibilitando la formación de sellos superficiales. Según estos autores, el deterioro de la permeabilidad varía con la textura del suelo, su mineralogía, la presencia de agentes enlazantes como óxidos de Fe^{3+} , Al^{3+} y materia orgánica, y la relación Na^+/K^+ del extracto de saturación. Así mismo, citan una pérdida de cohesividad de las partículas del suelo que se debería a la modificación del espesor de la doble capa difusa de la superficie de los coloides, ante la presencia de Na^+ .

Jaywardane y Chan (1994) relacionaron la escasa productividad de los suelos sódicos con la baja tasa de infiltración con las restricciones de drenajes debido a su poca e inestable macroporosidad. Afirmaron también que, para mejorar la estabilidad de la macroporosidad, puede recurrirse a la adición de agentes químicos (yeso) y materia orgánica mientras que para mantenerla se deberá recurrir a técnicas que eviten la recompactación por riego, tráfico e impacto de las gotas de lluvia. Finalmente estos autores reconocieron que para evitar los efectos adversos de la sodicidad en superficie, puede recurrirse al uso de prácticas conservacionistas para agregar materia orgánica al suelo y proteger la superficie de la perturbación mecánica y el impacto de la gota de lluvia.

2.4.2) Efecto sobre el espesor de la doble capa difusa y sobre la cohesión

De acuerdo a Sánchez - Giron (1996) la cohesión es la propiedad por la que se mantienen unidas entre sí las distintas partículas y agregados del suelo, distinguiéndose dos tipos de cohesión: a) cohesión molecular y b) cohesión superficial.



La cohesión molecular se encuentra presente solo en las arcillas y se debe a un balance entre las fuerzas de Coulomb (repulsivas) y las de Van de Waals (atractivas). Si de la resultante de ambas fuerzas predomina la fuerza de repulsión prevalece la dispersión y si predominan la fuerza de atracción originan floculación.

La distancia de la doble capa influye decisivamente en el establecimiento de las fuerzas de atracción y de repulsión entre las partículas de arcillas. Cuando más pequeña sea esta distancia tanto mayor será la probabilidad de que las fuerzas de atracción superen a las de repulsión. Los factores de los cuales depende la distancia de la doble capa son: a) carga de los cationes: cuanto mayor es la carga eléctrica de los cationes menor es la distancia de la doble capa (cationes divalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} originan doble capas de menor distancia que los monovalentes Na^+ y K^+), b) radio iónico hidratado son los que crean doble capas de menor distancia (calcio tiene menor radio hidratado que magnesio), c) concentración de los cationes: cuanto mayor es la concentración de cationes en la solución del suelo menor es la distancia de la doble capa. Los suelos sódicos en consecuencia, tienen una baja cohesión molecular cuando están húmedos, debido a que al tener el complejo saturado con sodio, catión monovalente y de gran radio iónico hidratado, aumenta el espesor de la doble capa difusa y en consecuencia se genera la dispersión. El incremento de la salinidad en cambio, disminuye el espesor de la doble capa, favoreciendo la floculación.

Es muy probable que a consecuencia del incremento del área regada, uso de agua de baja calidad y malas condiciones de drenajes, se incremente la superficie afectada por suelos salinos y sódicos por lo que será importante conocer el comportamiento mecánico de los mismos para determinar las implicancias sobre aspectos como la labranza y el tránsito.



2.5) Riego por aspersión mediante pivote central

El objetivo que se pretende con el riego es suministrar a los cultivos de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales, de forma que evite su acumulación en el perfil de suelo, asegurando la sostenibilidad del regadío (Tarjuelo, 1999).

Dentro de los distintos métodos de riego, el riego por aspersión, y más precisamente el pivote central está entre los sistemas de riego más populares en el mundo. Estos han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción.

Durante las últimas tres décadas, las maquinas de pivote central se han perfeccionado mucho. Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico (Requena y Martínez, 2010).

Un pivote central o lateral móvil consiste básicamente en una tubería lateral con aspersores. La tubería lateral es soportada por tensores de acero y torres espaciadas entre 30 y 60 metros. Cada torre cuenta con un motor y va colocada sobre sobre dos o cuatro ruedas de goma. En cada torre hay acoples flexibles que conectan las tuberías de dos tramos adyacentes. El largo máximo de los tramos es función del tamaño de la tubería, su espesor, pendiente y topografía del terreno. El largo de los tramos no tiene por qué ser uniforme y generalmente varía para adecuarse a las dimensiones del campo o

para ajustar la altura de los aspersores, que es suspendida por cables al final de la última torre para aumentar el área regada. Por lo general hay un cañón colocado al final del equipo para aumentar el radio de mojado. La longitud más común de los pivotes es 400 metros y su vida útil es de 15 a 20 años (Requena y Martínez, 2010).



Figura 2: foto del equipo de riego en cultivo de maíz (Zea maíz) en kaitaco.

CAPITULO III

3) Materiales y métodos

3.1) Característica del área de estudio

El presente trabajo se realizó en un explotación agropecuaria llamada "KAITACO", La misma se ubica a 50 kilómetros al norte de la ciudad de General Conesa, provincia de Río Negro.

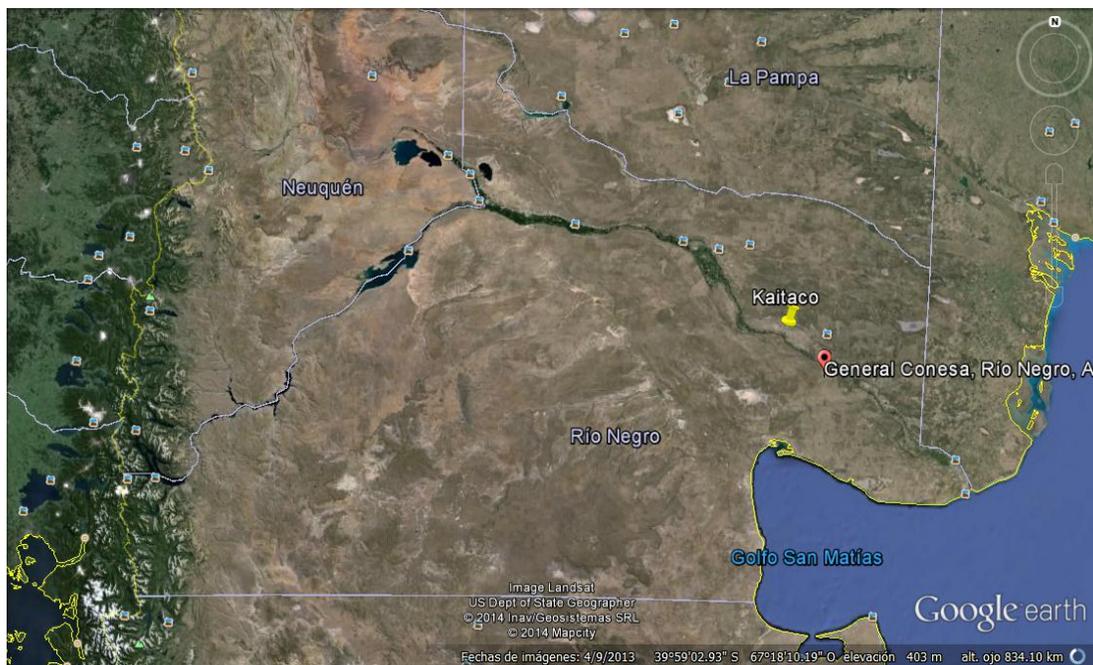


Figura3: imagen satelital Google earth de la ubicación (Kaitaco).

3.1.1) Localización geográfica

La zona de estudio conocida como "KAITACO" se localiza entre las coordenadas (S 39°53´42,29", O 64°53´03,78") la región es característica de clima semiárido.



Figura 4: imagen Google earth zona bajo estudio.

El experimento se llevo adelante durante el periodo 2013, en el sitio de estudio se produce maíz (*Zea maíz*). Es el tercer año del cultivo, en rotación maíz y sorgo.



Figura 5: foto del equipo de riego en el sector de estudio (zea maíz).



3.1.2) Clima

Las condiciones climáticas que predominan en la región son consideradas de excelente aptitud, para las prácticas de cualquier tipo de actividad agrícola.

El clima en esta región es del orden semiárido con una temperatura media anual de 15°C, el promedio de temperatura máxima anual 22°C y temperatura mínima anual de 8°C.

La temperatura máxima absoluta para el verano es de 42°C y la temperatura mínima absoluta en invierno es de -10°C.

La humedad media relativa del ambiente es de 53%, y la presión atmosférica de 1005,8 milibares o hectopascales.

La velocidad del viento media es de 13Km/h y la frecuencia media de heladas es de 41 días. El promedio libre de heladas es de 201 días.

La primera helada del año es considerada en el mes de abril más precisamente el 23 del mismo mes, y la última caída de helada es el 23 de octubre.

La precipitación llega a un acumulado de casi 290 mm anuales.

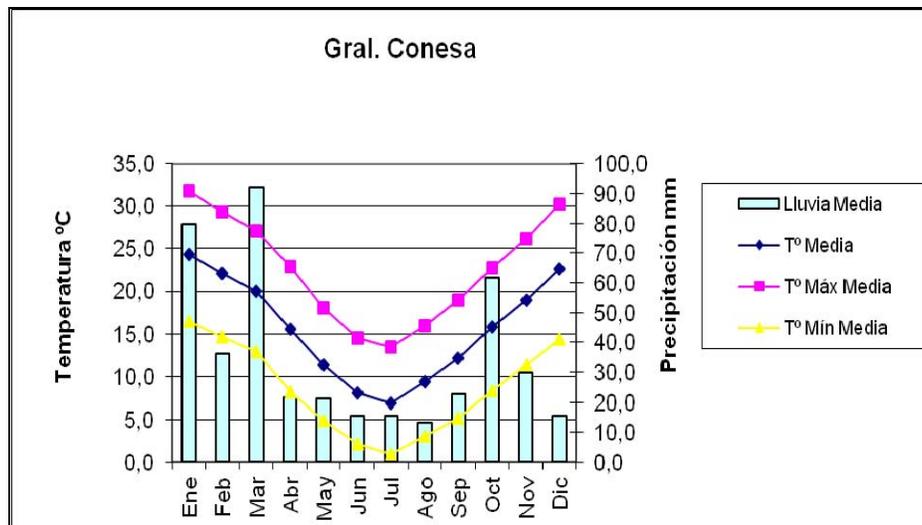


Figura 6: Departamento Provincial de Aguas y E.R.H (2014).

3.2) Sitios de estudio y diseño experimental

En el sitio seleccionado se estudio la situación actual del suelo mediante las determinaciones físicas y químicas correspondientes.

En la parcela que ya está bajo riego se realizaron determinaciones en lugares de suelo no tratados con riego y que pueden considerarse en equilibrio con el medio en seco para utilizar como patrón de comparación.

En función de los sitios elegidos se realizo una caracterización morfológica de los perfiles del suelo, un muestreo de suelo testigo afuera (AF) y tratamiento adentro (AD), afuera y adentro del área de los pivotes respectivamente y se realizo una evaluación de riego para determinar el funcionamiento del equipo.



3.2.1) Clasificación taxonómica del suelo bajo estudio

Según el Atlas de la República Argentina, citado por Pieter *et al* (1966) clasifica al suelo como aridisoles.

Son los suelos de climas áridos ya sean fríos o cálidos, que no disponen durante largos períodos de agua suficiente para el crecimiento de cultivos o pasturas polifíticas. La mayor parte del tiempo el agua presente es retenida a gran tensión, lo que la hace prácticamente inutilizable para las plantas o bien es agua salada. No hay períodos superiores a los 3 meses en el cual los suelos presentan humedad disponible, lo que limita extremadamente su posibilidad de utilización.

En general estos suelos se caracterizan por un horizonte superficial claro y pobre en materia orgánica (epipedón ócrico) por debajo del cual pueden aparecer una gran variedad de caracteres morfológicos de acuerdo a las condiciones y a los materiales a partir de los que se han desarrollado. Estos caracteres pueden ser el resultado de las actuales condiciones de aridez o heredadas de condiciones anteriores y los procesos involucrados en su génesis incluyen la migración y acumulación de sales solubles, carbonatos y arcillas silicatadas o concentraciones de calcáreo o sílice. También pueden presentar alteraciones de los materiales originales sin evidencias de ninguna acumulación significativa. Cuando no se encuentran bajo riego, los Aridisoles se asocian con una vegetación xerófila, las más de las veces ella es escasa y no cubre completamente la superficie del suelo.



3.2.2) Tipo de suelo de acuerdo a su clasificación textural

Se realizaron una caracterización general de los suelos, se trabajo con suelo de diferente clasificación textural de acuerdo al cuadro de clasificación, los pares seleccionados predominan los suelos Francos, Franco Limoso y Franco Arenoso.

3.3.1) Características generales del sistema de riego

El riego se realiza con un equipo de aspersión, tipo pivote central, que abarca todo la superficie circular de aproximadamente 65 has.

Actualmente se fertiliza el cultivo de maíz con fertilizante fosforado y nitrogenado. Como fertilizante fosforado se utiliza fosfato mono o di-amónico aplicado a la siembra, mientras que el nitrogenado se aplican con una maquina en dos estadios fenológicos distintos.

Los momentos y lámina de riego para el cultivo se deciden en función del balance hídrico que tiene en cuenta la reserva agua útil acumulada en el perfil del suelo explorado por las raíces, el umbral de riego para el cultivo y la estimación de la salida de agua del suelo por evapotranspiración del cultivo y de los ingresos de agua al suelo por precipitación efectiva.

Para evaluar la distribución del agua aplicada por el pivote, se considerara la metodología propuesta por Merrian y Keller (1978); Merrian *et.al.* (1980) y Heremann (1990), y las normas internacionales ASAE S436 (ASAE, 1995) e ISO-11545 (ISO, 1994). Para esto, se utilizaran pluviómetros (recipientes de plástico de aproximadamente 15 cm de altura y 16 cm de diámetro) que se colocaran en un radio del pivote en una separación de 2 metros entre

ellos, ya que los emisores, por lo general, tienen una anchura mojada a 10 metros (Tarjuelo, 2005).



Figura 7: Foto (izquierda) recipiente de plástico colocado debajo de pivote para el cálculo de la eficiencia de riego, (derecha) medición de los milímetros recogidos en cada maceta por medio de una probeta (Kaitaco marzo 2013).

Se calcularon el coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CU) (Ecuación 1) y la uniformidad de distribución (UD) (Ecuación 2) los cuales son índice que permiten poner de manifiesto la calidad del riego, para su estimación, se considera la variabilidad de las laminas caídas en los diferentes puntos a lo largo de cada tramo.



Coefficiente de uniformidad de Heermann y Hein (1968)

Ecuación (1)

$$CU_h = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n D_i |C_i - M_c|}{\sum_{i=1}^n C_i D_i} \right] \cdot 100(\%)$$

Donde:

n – número de colectores;

C_i - cantidad recogida por el colector (con i variando entre 1 y n);

D_i - área regada por el colector i o distancia del centro del pivote al colector i;

M_c- media ponderada de las cantidades recogidas por los n colectores.

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

Uniformidad de Distribución. Ecuación (2)

$$UD = \frac{\text{lamina media en 25\% del área menos regada}}{\text{lamina media de toda el área}} * 100$$

Donde UD es la uniformidad de distribución del agua (%)

3.4) Características de parcela de ensayo

3.4.1) Ubicación parcelaria

La parcela está situada en el margen derecho del Río Negro, ocupa un superficie de aproximadamente 5000 has, de la cuales 400 están bajo riego y el resto corresponde a edificación y áreas de producción de pastoreo de secano. Dentro de la misma, la zona estudiada corresponde a un área circular, de aproximadamente 65 has.

Los suelos son de origen aluvial, y de texturas variadas.

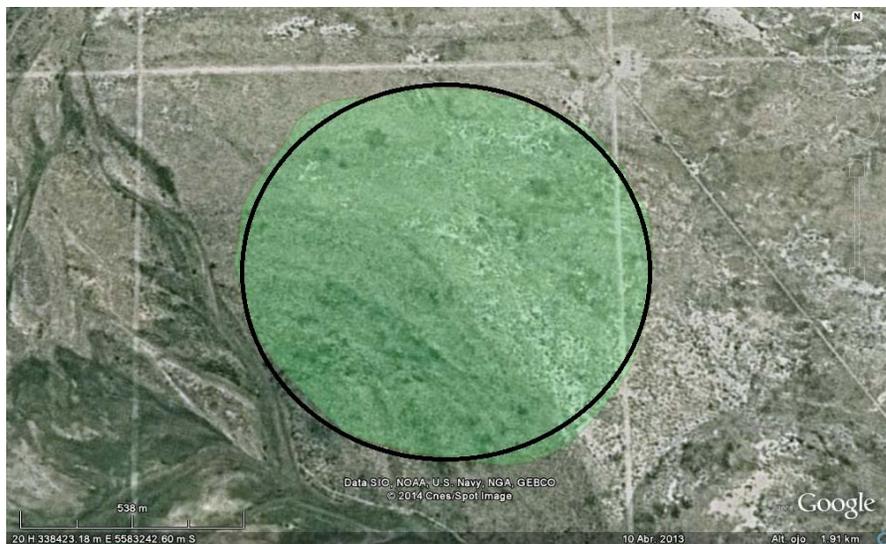


Figura 8: imagen satelital de la ubicación de la parcela bajo estudio.

3.4.2) Recurso Agua

El agua para alimentar al pivote es captada directamente desde el río negro, por medio de una bomba que trasvasa el agua a un canal abierto de conducción. Este canal llega



hasta el borde del pivote de donde se bombea nuevamente con un motor que posee 85 caballos de fuerza.

3.4.3) Característica de funcionamiento del equipo

Dentro de este trabajo se procedió a realizar una evaluación de cómo estaba funcionando el equipo mediante una evaluación de riego para determinar los parámetros de las ecuaciones 1 y 2.

3.5) Selección de los sitios de muestreo

Se realizó un recorrido por el terreno de sitio afuera y adentro del pivote y en cada lugar se obtuvieron 6 (seis) muestras compuestas de 10 (diez) submuestras, a cada una de las siguientes profundidades: (0-20), (20-40), (40-60) centímetros de profundidad, además se obtuvieron muestras de (0-5) centímetro a los fines de observar en un espesor de mayor sensibilidad la variación del %MO.

3.6) Obtención de la muestra de suelo

Adicionalmente, se seleccionaron los sitios de referencias que representaron la situación más próxima a un suelo natural, y se tomaron muestras del horizonte superficial y sub-superficial para evaluar las propiedades físicas y químicas.

Las muestras de suelos fueron obtenidas en el mes de marzo del 2013, se obtuvieron un total de 36 muestras, para su análisis químico, proveniente de distintas profundidades (0-20), (20-40) y (40-60) centímetros, 12 muestras totales para la determinación de materia orgánica, considerándose 1 muestra compuesta de cada



tratamiento a una profundidad de (0-5) cm, y 24 muestras para la determinación de densidad aparente a las tres profundidades (0-5), (5-10) y (10-15).

Para su obtención la muestra de suelo se utilizó un barreno tipo Kriquet, se fraccionaron y embolsaron en bolsas de polietileno.

Para la obtención de las muestras de densidad aparente se utilizó un cilindro metálico de 5 cm de largo por 4,8 cm de diámetro, con un volumen total de 90,47 cm³.

3.7) Localización de los sitios muestreo

Para el registro de la localización de las muestras de suelo, se utilizó un equipo de geoposicionamiento (GPS maps 60 csx marca GARMIN). Para el estudio del caso se midieron las coordenadas geográficas de latitud y longitud en todos los puntos del sitio de muestreo. Con las lecturas registradas, se utilizó para realizar un mapa de georeferenciación.

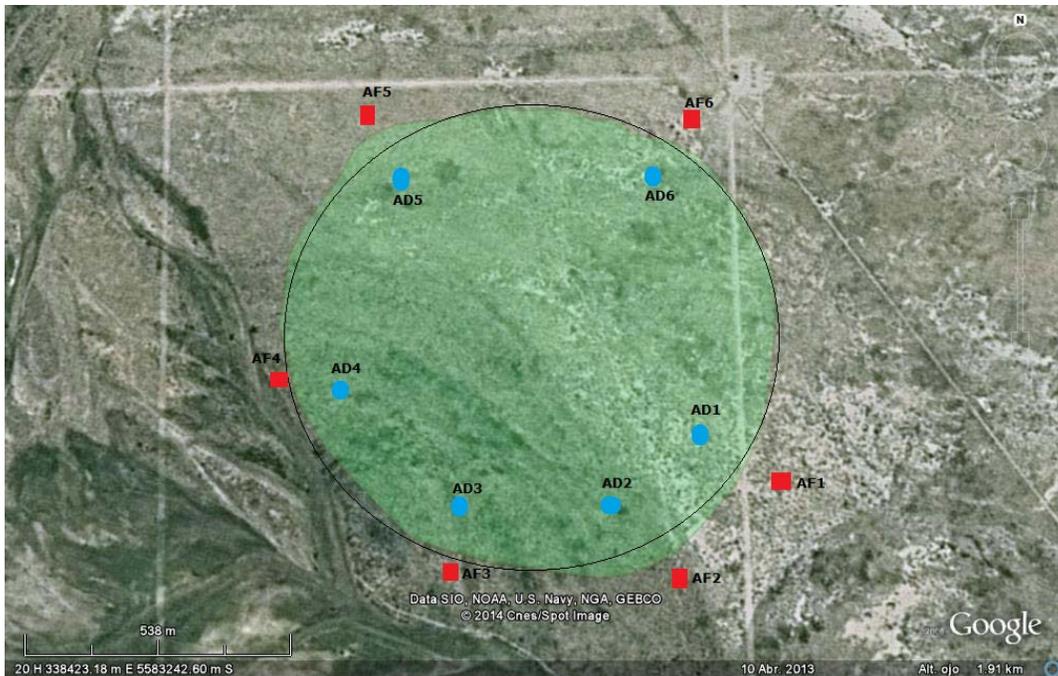


Figura 9: imagen satelital de los sitios de muestreo.

3.8) Análisis de la muestra de suelo

Las determinaciones se realizaron en el extracto de saturación de la muestra de suelo, determinando en cada perfil del suelo las siguientes variables: pH, C.E, RAS, cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) y aniones (CO_3^- , CO_3H^- , Cl^- , SO_4^-).

3.9) Obtención de la muestra de agua

El sitio seleccionado para la muestra de suelo, se procedió a obtener una muestra de agua del pivote que está en actividad. Se realizó un análisis de las características físico-químicas del agua para conocer la dinámica de las propiedades dentro de la época de riego. Se realizaron las siguientes determinaciones: pH, conductividad eléctrica, cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) y aniones (CO_3^- , CO_3H^- , Cl^- , SO_4^-).



Las determinaciones fueron realizadas en el laboratorio de la Estación Experimental Valle Inferior de Río Negro – Convenio con Provincia. Siguiendo en todos los casos las especificaciones que establece la Norma Oficial Argentina IRAM.

Tabla 1, calidad del agua de riego

pH	CE (dSm ⁻¹)	Na ⁺ mEq/L	Ca ⁺² mEq/L	Mg ⁺² mEq/L	K ⁺ mEq/L	CL ⁻ mEq/L	HCO ₃ ⁼ mEq/L	RAS
7,58	0,25	1,6	1,67	0,45	0,01	0,9	1,9	0,63

(Laboratorio de EEVI-Convenio provincia de Río Negro)

4) Metodología

Los métodos que se usaron para dichos análisis son los calibrados por normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación).

Esta norma fue estudiada en el marco del convenio con la entonces (SAGPyA) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación por el que se contempla el estudio de normas aplicadas a los análisis de suelo, agua y vegetales para la actividad agropecuaria.

4.1) Preparación de la muestra de suelo para sus respectivas determinaciones

Los suelos fueron tamizados con un mortero de porcelana, con el fin de disgregar los grandes terrones. Las pequeñas partículas resultantes fueron tamizadas por una malla de 2 mm.

El material resultante se incorporo a un recipiente, y se preparo una pasta, la misma fue sometida a humedecimiento mediante un atomizador manual. El humedecimiento se realizó con agua destilada con el fin de no afectar la salinidad y sodicidad de las muestras. Para lograr una humectación homogénea en todo el material se dejo reposar 24 hs tapado con un vidrio de reloj.

Posteriormente se obtuvo el extracto por medio de la bomba de vacío.



Figura 10: foto de muestra de suelo seco (izquierda) y tamizado por malla de 2000 micras (derecha).



Figura 11: preparación de pasta de saturación (izquierda) y a la obtención de extracto luego de 24 horas (derecha).



4.1.2) Descripción de los Métodos usados

4.1.2.1) *Determinación de pH*

La medida de pH del suelo refleja la actividad de los iones hidrógeno en una suspensión de suelo en agua o en solución salina. El valor obtenido es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes, del grado de saturación del complejo de intercambio y también es utilizado como guía para definir la metodología a aplicar en el análisis químico de suelo.

Normalmente el ensayo se realiza en una suspensión de suelo en agua, pudiendo utilizar también otras soluciones salinas, en función del objetivo del análisis.

El pH es uno de los principales ensayos utilizados en el análisis químico de muestra de suelo. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una suspensión viene dado por la actividad del ión hidrógeno (H^+), la cual en suspensión diluida puede presumirse equivalentes a la concentración molar. La actividad del H^+ puede expresarse bajo la forma $pH = -\log [H^+]$.

Se prepara una suspensión en relación (m/v) 1:2;5 de suelo y agua de solución de cloruro de potasio o de solución de cloruro de calcio. Se homogeniza totalmente la suspensión y se espera como mínimo 1 (una) hora antes de proceder a la medición.



Figura 12: foto de pHmetro de mesa.

4.1.2.2) Conductividad Eléctrica en Pasta de Saturación

La conductividad eléctrica –C.E- de un medio, se define como la propiedad que tiene ese medio para conducir la corriente eléctrica.

El contenido de sales de un suelo se puede estimar por medición de la conductividad eléctrica en una pasta de suelo saturado con agua o en una suspensión mas diluida. En esta última el valor obtenido suele ser menor a medida que se incrementa el nivel de dilución (Richards, 1973).

El procedimiento consiste en saturar con agua destilada una muestra de suelo, pre tratado de acuerdo con la norma IRAM-SAGPyA 29578, y luego de un período de reposo o equilibrio extraer el agua no retenida por el suelo saturado mediante succión. Sobre el extracto obtenido se mide la C.E expresando en dSm^{-1} .

Los criterios para indicar si los suelos son salinos o no salinos; según la CE (dSm^{-1}) el United States Salinity Laboratory de Riverside indica los siguientes grados de salinidad.



Figura 13: foto de conductímetro de mesa en unidades de microsiemens, (izquierda) adentro (AD) y la (derecha) afuera (AF).

Tabla 2, clasificación de los suelos mediante la conductividad Eléctrica en unidades de dSm^{-1} , según el United States Salinity Laboratory.

CE dSm^{-1}	Clasificación de los suelos
0 – 2	Suelos normales
2 – 4	Suelos ligeramente salinos
4 – 8	Suelos salinos
8 – 16	Suelos fuertemente salinos
>16	Suelos extremadamente salinos

4.1.2.3) Determinación de Sodio y potasio por fotómetro de llama

Cuando se aspira una disolución acuosa de sales inorgánicas en una llama adecuada de un quemador, los iones presentes emiten una radiación característica, cuya intensidad de emisión es función lineal de su concentración, lo que permite su determinación cuantitativa.

La espectroscopía de llama, mide la potencia radiante de una línea emitida por un analito aspirado dentro de una llama caliente. Para separar dicha línea de la radiación producida por la llama o por los demás componentes de la muestra se emplea un monocromador o filtro.

Se prepara dos series de matraces de 50 ml adicionando con una pipeta 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 ml de disolución de 100 mg/l de Na^+ y 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 y 5,0 ml de disolución de 100 mg/l de K^+ respectivamente y se completa hasta el enrase con agua destilada. Se mide la señal de estas disoluciones patrón empleando los filtros correspondientes. Se hace la representación gráfica de la variación de la señal medida en función de la concentración del respectivo catión.



Figura 14: matraz de 100 mililitros aforado con muestra (izquierda) y medición por el fotometro de llama (derecha).

4.1.2.4) Determinación de Calcio y Magnesio por complexometría con EDTA

Los iones de calcio Ca^{+2} y magnesio Mg^{+2} presentes en el extracto de saturación del suelo se unen a sustancia utilizadas como indicadores. Al realizarse la valoración con EDTA los cationes



van pasando gradualmente del complejo colorante de los indicadores al complejo EDTA (más estable), provocando el viraje de color de la solución de rojo vinoso a color azul-turquesa. La reacción es prácticamente instantánea a temperatura ambiente normal.

Para cuantificar ambos cationes se valora Ca^{+2} y Mg^{+2} juntos (con indicador negro de Eriocromo T) y paralelamente el Ca^{+2} solo (con HHSNN). La cuantificación del Mg^{+2} se hace por diferencia entre ambos.

Para cuantificar Ca^{+2} y Mg^{+2} se agrega una solución de buffer, de manera de regular el pH de la solución (alrededor de 10). Esto permite a ambos cationes reaccionar con el indicador (Negro de Eriocromo T), con el cual se forman compuesto pocos estables. Luego, durante la titulación, desde allí pasan gradualmente (sin precipitación) al complejo que forman con el EDTA más estable.

Procedimiento: tomar una alícuota de 10 a 25 ml de muestra como pipeta doble aforo y transferir a un erlenmeyer, agregar 10 ml de buffer para Ca^{+2} y Mg^{+2} y punta de espátula de indicador, luego titular con EDTA hasta que la solución pase de color rojo vinoso al azul.

Para cuantificar el Ca^{+2} solo, se realiza la alcalinidad fuerte del medio (alrededor de pH 12), lo que produce la precipitación selectiva del Mg^{+2} (como $\text{Mg}(\text{OH})_2$) y permite al Ca^{+2} reaccionar con el colorante ácido que se utilizar como indicador (HHSNN).

Procedimiento: tomar una alícuota de 10 a 25 ml de muestra como pipeta doble aforo y transferir a un erlenmeyer, agregar 10 ml de buffer para Ca^{+2} (NaOH 1N) y punta de espátula de indicador, luego titular con EDTA hasta que la solución pase de color rojo vinoso al azul.



Figura 15: alicuota del extracto, buffer e indicador (izquierda) y titulación con EDTA hasta el viraje del indicador a azul (derecha).

4.1.2.5) Determinación de Cloruros

Para analizar los cloruros, las muestras, a un pH neutro o ligeramente alcalino, se titula con nitrato de plata (AgNO_3), usando como indicador cromato de potasio (K_2CrO_4).

El cloruro de plata AgCl , precipita cuantitativamente primero, al terminar los cloruros, el AgNO_3 reacciona con el K_2CrO_4 formado un precipitado rojo ladrillo de Ag_2CrO_4 .

El pH óptimo para llevar a cabo el análisis de cloruro es de 7,0 a 8,3, ya que cuando tenemos valores de pH mayores a 8,3 el ion Ag^+ precipita en forma de $\text{Ag}(\text{OH})$; cuando la muestra tiene un pH menor que 7,0 el cromato de potasio se oxida a dicromato, afectando el viraje del indicador.

Procedimiento: tomar una alícuota de 10 ml de la muestra con un pipeta doble aforo y transferir a un erlenmeyer, luego ajustar el pH de muestra entre 7,0 y 10,0, añadir 0,5 ml de indicador (K_2CrO_4), titular con (AgNO_3 0,01 N) hasta obtener un color rojo ladrillo pálido.



4.1.2.6) *Determinación de Carbonato y Bicarbonato*

La determinación de alcalinidad en el extracto del suelo se realiza por titulación de los compuestos que se la confieren, con solución valorada de un ácido fuerte hasta un pH determinado. El valor obtenido en la titulación dependerá del pH seleccionado como punto final, pues los diferentes compuestos que aportan alcalinidad concluyen su reacción con el ácido a diferentes valores de pH.

En la determinación se emplean dos valores de pH como punto final; 8,3 y 4,2. Con el primer valor se titulan los carbonatos, hasta su transformación en bicarbonatos, mientras que con el segundo se titula la totalidad de los carbonatos y bicarbonatos presentes en la misma.

Para definir el punto final a $\text{pH} = 8,3$ se utiliza el viraje de la fenolftaleína, y para el punto final a $\text{pH} = 4,2$ el del anaranjado de metilo (Heliantina) o el del verde de bromocresol.

En muestra con alcalinidad inferior a $20 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ debe recurrirse al empleo de pHmetro para identificar los puntos finales, dado que la titulación no resultara precisa.

Procedimiento para cuantificar carbonatos: medir entre 10 y 25 ml de muestra con pipeta doble aforo y transferir a un erlenmeyer, luego agregar 2-3 gotas fenolftaleína al 1% y titular con solución de H_2SO_4 al 0,01 N hasta el incoloro. (En este punto los carbonatos son transferidos a bicarbonatos). Agregar al mismo erlenmeyer (proveniente de la titulación de carbonatos) 2 – 3 gotas de indicador (Heliantina) y titular (H_2SO_4 al 0,01 N) hasta que la solución vire al rojo naranja.



4.1.2.7) Determinación de Sulfatos

El sulfato es la principal forma inorgánica de azufre en la mayoría de los suelos, aunque puede estar presente la forma elementales y en sulfuros bajo condiciones predominantemente anaerobias. Otras formas oxidables como tiosulfatos, tettrarionato o sulfito también pueden estar presente en el suelo, pero solo como intermediario durante la oxidación o reducción del sulfuro. Los sulfatos pueden estar presentes en forma solubles, adsorbidos en las superficies del suelo o como sales insolubles (yeso o asociados con carbonato de calcio). Teóricamente el sulfato biodisponible en fertilidad de suelo es el adsorbido y el soluble, mientras que el insoluble no se considera directamente disponible (Kowalenko, 1993).

Procedimiento: medir tomar 5 ml de la muestra con pipeta doble aforo y colocar en tubo de ensayo, incluir blanco con agua destilada, luego agregar cada 6 muestra 0,1 mg de BaCl₂ agitar los tubos con vórtex hasta disolverlos. Esperar 3 minutos y leer en absorbancia en el espectrofotómetro a 420 nm.

4.1.2.8) Determinación de RAS

El laboratorio de salinidad de RIVERSIDE (U.S) clasifica la peligrosidad de sodificación del suelo en función de su índice R.A.S (relación adsorción sodio), que se calcula con la siguiente formula.

$$RAS = [Na^+] / \{ [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] / 2 \}^{1/2}$$

Nota: los cálculos se realizan en mEq.



4.1.2.9) Determinación Materia Orgánica (Walkley y Black)

Con este método se estima el contenido de carbono orgánico total de una muestra de suelo, completo o de alguna de sus fracciones. Es el método más utilizado en los laboratorios edafológicos para evaluar la materia orgánica del suelo.

Según el *Soil Survey Laboratory [Laboratorio de Estudios de Suelos]* (1995), este método actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico que posee el suelo y no produce una oxidación completa de dichos compuestos, por lo que se deben hacer ajustes a los resultados obtenidos en el laboratorio, cuando se quieren expresar en términos de contenido de materia orgánica. El SSL (1996) recomienda utilizar un factor de corrección igual a 1.724, asumiendo que la materia orgánica tiene 58% de carbono orgánico. El método consiste en una oxidación con dicromato de potasio al 1N en medio del ácido sulfúrico. La reacción toma el color de la disolución del ácido, lo que eleva la temperatura y logra la oxidación del carbono orgánico. El dicromato residual es posteriormente titulado con una sal ferrosa.

4.1.2.10) Determinación de textura (pipeta de Robinson)

Este método es uno de los más utilizados en la actualidad y es el que se aplicará en este trabajo. Su principio está basado en la ley de Stokes, es decir en la diferente velocidad de sedimentación de partículas de distinto diámetro, por lo que el análisis consiste en efectuar extracciones a profundidades y tiempos determinados.

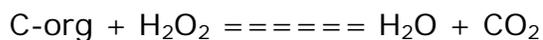
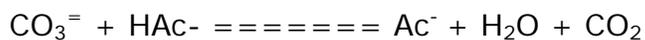


Marcha operatoria:

1) Pesar 20 g de suelo seco al aire, desagregado y tamizado por tamiz de 2 mm, colocarlo en un vaso de precipitado de 1000 ml y agregar 25 ml de ácido acético al 5 %, con el fin de destruir el material calcáreo. Se deja durante 24 horas y se evapora por calentamiento suave sobre mechero Bunsen.

2) Agregar gotas de alcohol amílico y 50 ml de agua oxigenada de 100 vol. para destruir la materia orgánica. El agregado de alcohol amílico tiene por objeto anular la producción de espuma que se produce con el agregado de agua oxigenada. Se deja actuar durante otras 24 horas y se evapora nuevamente sobre mechero Bunsen en forma suave. Para producir la eliminación total del agua oxigenada se puede agregar agua destilada y evaporar nuevamente.

Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



3) El siguiente paso consiste en eliminar los electrolitos presentes a fin de favorecer la dispersión posterior de la muestra. Esto se realiza filtrando al vacío con filtro Buchner y papel de filtro banda blanca, o por centrifugación, evitando en esta operación la pérdida de muestra al traspasarla a la botella de centrifuga.

4) Terminado el lavado, se procede a dispersar la muestra. Se utiliza la misma botella de centrifuga a la que se agregan 25 ml de hexametáfosfato de sodio al 1 % como agente dispersante.

Se coloca la botella o recipiente en el agitador durante 30 minutos. Posteriormente se lo lleva a un aparato de ultrasonido por espacio de 15 minutos.



5) Se trasvasa a una probeta de 1000 ml, y se completa a un litro con agua destilada. Se lleva la misma a una cubeta de agua para uniformar la temperatura (esto requerirá de un día más aproximadamente). El contenido de la probeta se agita luego, invirtiéndola unas 20 veces con el fin de homogeneizar la suspensión. Posteriormente debe determinarse la temperatura del agua de la cubeta (que será la misma de la muestra). Sobre la base de este dato se establecen la profundidad y tiempo que deben transcurrir para realizar la extracción por pipeteado de un volumen de muestra determinado (normalmente 25 ml).

6) La primera extracción corresponde a limo + arcilla a la que, por ejemplo para una temperatura de 20°C, y una profundidad de pipeteo de 10 cm, le corresponde un tiempo de 46" (estos datos se extraen de una tabla). Es decir que la extracción de muestra (de limo + arcilla), a 10 cm de profundidad desde la superficie de la suspensión, deberá realizarse 46" después de agitada la muestra.

Para proceder a la segunda extracción, correspondiente a arcilla se vuelve a tomar cuidadosamente la temperatura y se recurre a la tabla (por Ej. para 20°C, para un tiempo de 3½ hs., le corresponde una profundidad de 4,40 cm).

7) El volumen correspondiente a cada extracción se coloca en un pesafiltro previamente tarado y se lleva a estufa a 105-110 °C hasta peso constante, que se logra aproximadamente a las 24 hs.



Figura 16: probeta de 1000 mililitros con suelo (izquierda) y alícuota obtenida por pipeta en sus respectivos vasos de precipitado (derecha).

Cálculos:

1) %Arcilla + Limo (<50 μm):

$$\text{Arc} + \text{Limo} = \frac{(B-A)\text{grs} \cdot 100 \cdot 1000 \text{ ml}}{25 \text{ ml} \cdot 20 \text{grs}}$$

A= tara del pesafiltro.

B= peso pesafiltro +(arcilla+limo)

2) %Arcilla (<2 μm):

$$\text{Arcilla} = \frac{(B-A) \cdot 100 \cdot 1000 \text{ ml}}{25 \text{ ml} \cdot 20 \text{ grs}}$$

A= tara del pesafiltro.

B= peso pesafiltro + arcilla

3) %Limo (entre 2 y 500 μm):

$$\text{Limo} = (\text{Arcilla} + \text{Limo}) - \text{Arcilla}$$

4) %Arena (entre 50 y 2000 μm):

$$\text{Arena} = 100 - (\text{fracción} < 50 \mu\text{m}) =$$

Con la fracción de arcilla, limo y arena así determinadas se ingresa al triangulo textural y se define la clase textural a la que pertenece la muestra (USDA, 1999).



4.1.2.12) Determinación de infiltración

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta los horizontes internos. La velocidad de infiltración, es función del tipo de suelo y propiedades físicas como texturas y estructura, del laboreo, del estado de compactación de la superficie del suelo, del contenido de humedad del suelo y de la salinidad del suelo y agua para riego (Lowery *et al.* 1996).

La velocidad de infiltración en un suelo está influenciada por factores tales como su condición superficial, el estado físico y químico y la naturaleza del perfil y la distribución del agua en dicho perfil. Estos factores cambian más o menos durante el tiempo de infiltración (Richards, 1956).

La variación de la velocidad de infiltración puede constituir un factor crítico y limitante para el uso agrícola de los suelo alcalinos, (Richards, 1952).

Es muy difícil especificar un límite de demarcación entre el grado de infiltración satisfactorio indeseable. Si el grado de infiltración es menor a 0,25 cm/h, se presentan problemas de manejo del agua, que pueden hacer incosteable una explotación bajo riego (Richards, 1952).

Se han propuestos varias ecuaciones empíricas para expresar la velocidad de infiltración como una función del tiempo (Grassi, 1998), una de las aproximaciones más simples y mayormente utilizadas por ajuste muy bien a la mayoría de las condiciones de la prácticas de riego por superficie, ha sido la ecuaciones de kostiakov (1940, mencionado por Grassi, 1998), dicha ecuación expresa la velocidad de infiltración en un punto.



$$I = a \times t^b \quad (1)$$

Donde:

I: velocidad de infiltración (mm minuto⁻¹ o mm hora⁻¹).

t: tiempo de infiltración (minutos u horas).

a: coeficiente que representa la velocidad de infiltración t=1 (mm min^{-(1+b)} o mm h^{-(1+b)}).

b: exponente sin dimensiones, siempre es negativo con valores que van de 0 a 1.

Al integrar la ecuación (1) entre los límites t=0 y t, se obtiene la ecuación de infiltración acumulada:

$$I_{cum} = \int a \times t^b = a/(b-1) \times t^{b-1} = A \times t^B \quad (2)$$

La infiltración se determina midiendo la lámina infiltrada en función del tiempo. El procesamiento de la información culmina con la obtención de la ecuación de infiltración la cual expresa la misma como una función del tiempo. La forma más común de las ecuaciones de infiltración es la ecuación de Kostiakov (1940).

La velocidad de infiltración básica es el valor instantáneo, cuando su velocidad de cambio para un periodo de estándar, es del 10% o menos de su valor (mencionado por Grassi 1998 y Chambouleyron, 2005), su expresión matemática es la siguiente:

Donde:

$$I_b = a \times (-600 \times b)^b$$

Donde:

$$I_b: \text{mm h}^{-1}$$

$$a = A \times B \times 60$$

$$b = B - 1$$

Como el lugar de estudio tiene una superficie muy heterogénea, se realizó agrupamiento de datos para el cálculo de la infiltración básica de acuerdo a un criterio de selección de sitios, y finalmente se hizo un estudio de infiltración básica general del testigo (AF) y el tratamiento (AD).

Para el primer agrupamiento de los datos se basó en una posible homogeneidad del terrenos, para tal caso se agruparon por un lado los sitios afuera (AF2, AF3, AF4) y el sitio de adentro (AD2, AD3, AD4).

Para el segundo agrupamiento de los datos se basó también en una posible homogeneidad del terrenos, para tal caso se agruparon por un lado los sitios afuera (AF1, AF5, AF6) y el sitio de adentro (AD1, AD5, AD6).



Figura 18: foto del sitio afuera (AF) (izquierda) y del permeámetro de disco (derecha).



5) Toma de muestra por método pareado

Para llevar adelante dicha investigación se realizará el método de muestreo pareado. Una de las hipótesis sobre las que habitualmente se fundamentan las pruebas de estadísticas de comparación es que las observaciones pertenecientes a cada una de las muestras son independientes entre sí, no guardan ninguna relación; siendo precisamente ese uno de los objetivos de la aleatorización (elección aleatoria de los sujetos o unidades de observación). Sin embargo la falta de independencia entre las observaciones de los grupos puede ser una característica del diseño del estudio para buscar fundamentalmente una mayor eficiencia del contraste estadístico al disminuir la variabilidad. En otras ocasiones con este tipo de diseño pareado lo que se busca es dar una mayor validez a las inferencias obtenidas, controlando o eliminando la influencia de variables extrañas cuyo efecto ya es conocido o sospechado, y no se desea que intervenga en el estudio actual pudiendo enmascarar el efecto tratamiento de la variable de interés (InfoStat, 2011).

Los aspectos a tener en cuenta es que para el análisis estadístico de los resultados es la característica particular del relieve de lote.

Para el análisis estadístico de las variables de realizo una ANOVA (InfoStat, 2011), en este caso de incluyo el testigo (AF) y el Tratamiento (AD). Se realizo un análisis para cada profundidad. Las comparaciones entre los factores de tratamiento fueron realizadas con un *test* LSD Fisher con un nivel de significación de 0,05.



CAPITULO IV

6) Resultados

6.1) Evaluación de riego

El resultado obtenido en la evaluación de riego del pivote, permite obtener el coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (*CU*), el mismo arrojó como resultado 88% uniformidad y 79% de uniformidad de distribución que es un valor adecuado para las condiciones de suelo y cultivo.

En la figura 19, presenta las características del equipo en término de superficie y lamina aplicada medias recogidas por tramo en los pluviómetros, que corresponde a la evaluación realizada. La lámina de recogida en promedio por cada tramo del pivote fue de 18,05 mm con un desvío de 1,9.

Dentro de una situación de un buen coeficiente de uniformidad, se observa que los tramos 2 y 3 reciben menos agua que la media, y el tramo que corresponde a voladizo, es donde se aprecian los menores valores con respecto a la media, por lo que ninguno de los muestreos se encontró en la zona regada por el voladizo.

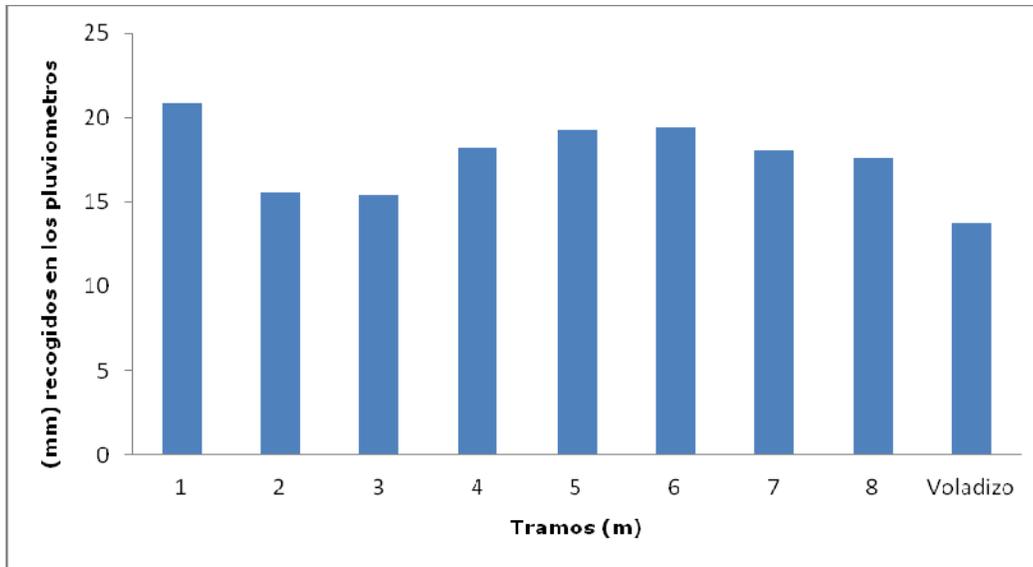


Figura 19. Distribución de la lámina de agua (mm), por cada tramo del pivote.

En general se puede constatar que el pivote evaluado tiene un funcionamiento acorde con las especificaciones de diseño establecido por el fabricante.

6.2) Contenido de Humedad

En la figura 20a, muestra el contenido de humedad en el eje de abscisas se observa el porcentaje de humedad gravimétrica y el eje de las ordenadas la profundidad en centímetros (cm). La línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea enteras de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote. Se encontraron diferencias significativas entre el testigo afuera (AF) y el tratamiento adentro (AD), $p < 0,05$, el porcentaje de humedad medio adentro es de $34,02 \pm 6,19$ mientras que el de afuera es de $9,15 \pm 1,81$.

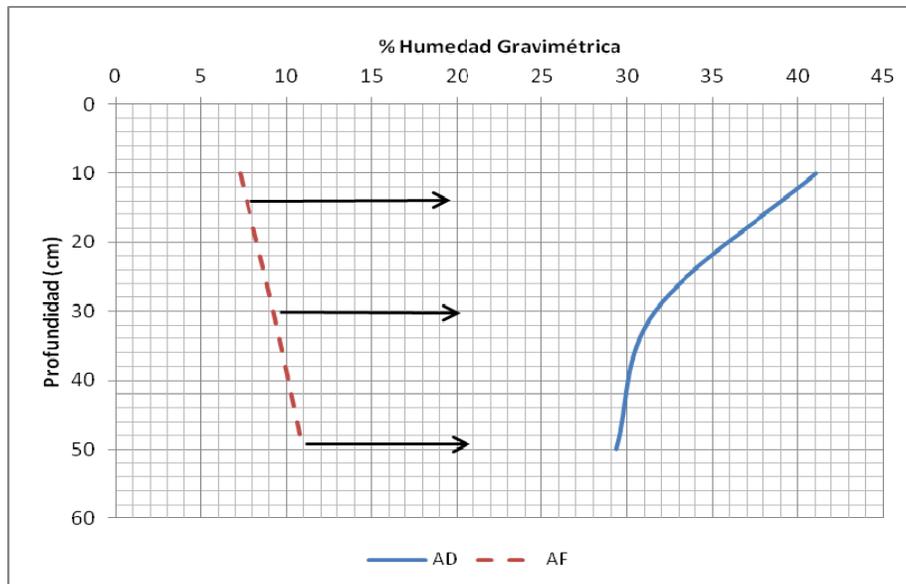


Figura 20a. Contenido de humedad gravimétrica entre los sitios, adentro (AD) y fuera (AF).

En la figura 20b, muestra el contenido de humedad gravimétrica por profundidad. En el eje de abscisas se observa el porcentaje de humedad y el eje de las ordenadas la profundidad en centímetros (cm). Las barras incoloras con bordes discontinuos de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y las barras enteras de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote. Se puede observar que en el tratamiento (AD) no presenta diferencias en todas las profundidades ($p=0,2941$), mientras que el testigo (AF) si presenta deferencia entre los estratos de 0-20 cm y el de 40-60 cm $p<0,05$.

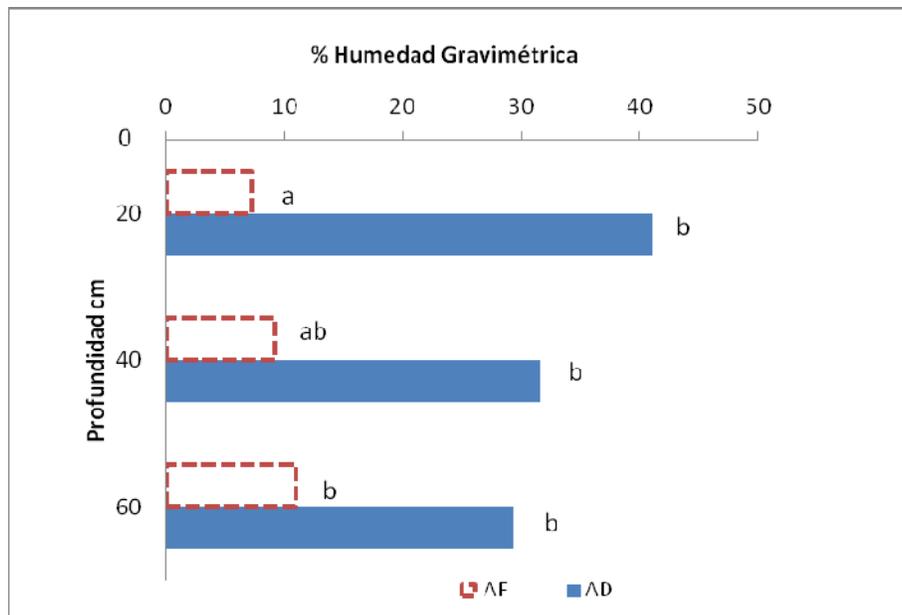


Figura 20b. Contenido de humedad gravimétrica por profundidad en el suelo adentro (AD) y afuera (AF). Letras distintas indican diferencias significativas entre profundidades de un mismo tratamiento test Fisher $p > 0,05$.

6.3) Contenido de Materia Orgánica %

En la figura 21, se observan los valores de materia orgánica medida en porcentaje, en el eje de las abscisas se observa el valor de materia orgánica en porcentaje, y la ordenada muestra la profundidad en centímetros (cm).

Las barras incoloras con bordes discontinuos de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y las barras enteras de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote, al momento de muestreo el porcentaje de materia orgánica fueron alrededor de $2,86 \pm 0,55$ para el tratamiento adentro (AD) y de $2,48 \pm 0,37$ para el testigo afuera (AF), para la profundidad de 0-5 centímetros. Los datos analizados mediante el test de Fisher no mostraron diferencia significativas entre los sitios ($p < 0,199$), si se muestra entre el estrato una tendencia de mayor valor de materia orgánica en el tratamiento (AD).

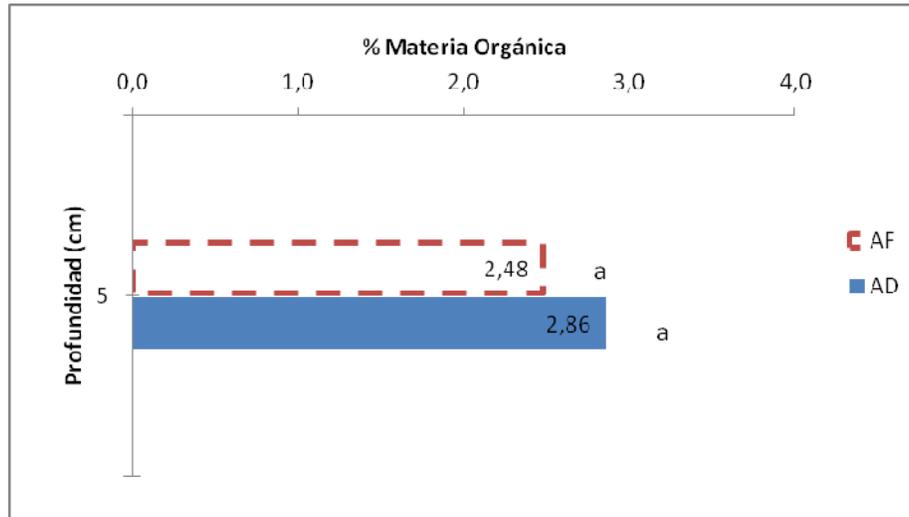


Figura 21. Contenido de materia orgánica en porcentaje en el suelo entre los sitios, adentro (AD) y afuera (AF). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamiento test Fisher $p > 0,05$.

6.4) pH del suelo

En la figura 22a, muestra el contenido de pH del suelo. En el eje de abscisas se observa el pH medido en (1:2;5) y el eje de las ordenadas la profundidad en centímetros (cm). La línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea entera de color azul correspondena al tratamiento adentro (AD) del pivote.

Los valores del pH del suelo con la aplicación del riego. Los resultados obtenidos de la determinación de pH no mostraron cambios en la concentración total de la solución durante este proceso entre el testigo (AF) y el tratamiento (AD) $p = \text{valor de } 0,9191$.

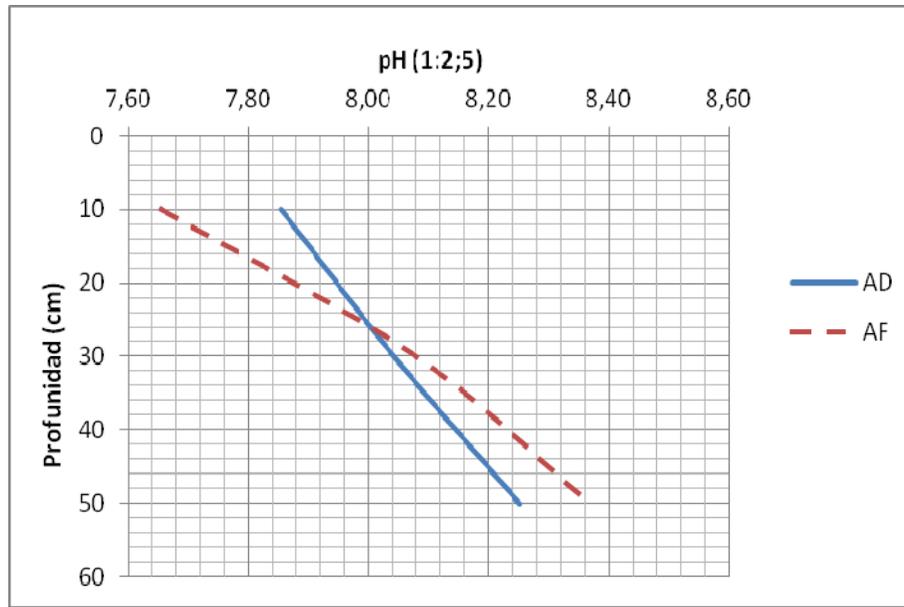


Figura 22a. Contenido de pH en el suelo entre los sitios, adentro (AD) y fuera (AF).

En la figura 22b se observa el pH de la solución del suelo, el mismo difiere con la profundidad. En el eje de abscisas se observa del pH suelo y el eje de las ordenadas la profundidad en cm. Las barras incoloras con bordes discontinuos de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y las barras enteras de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote, ambos mostraron diferencia en los estratos de 0-20cm y el 40-60 cm $p < 0,05$.

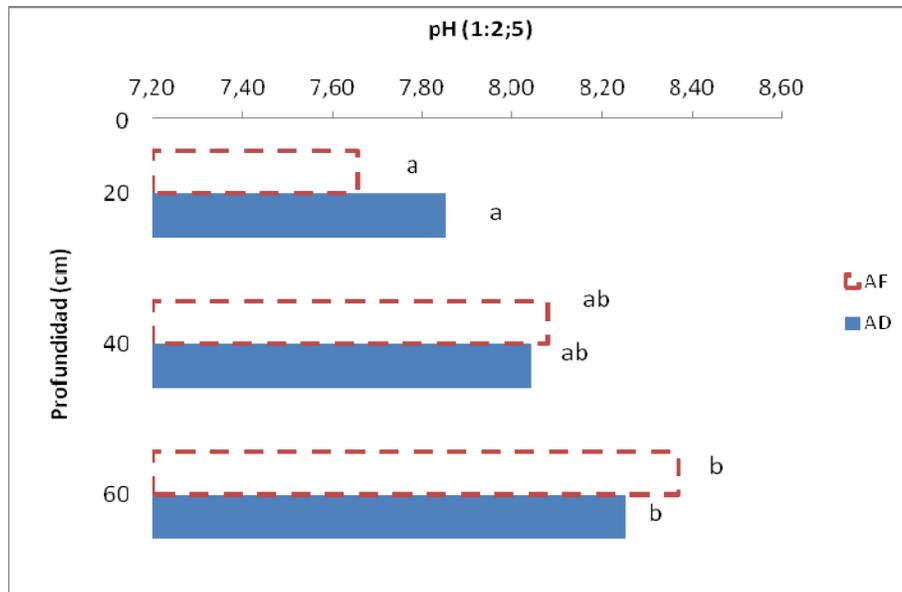


Figura 22b. pH en el suelo afuera (AF) y adentro (AD) en diferentes profundidades. Letras distintas indican diferencias significativas entre profundidades de un mismo tratamiento test Fisher $p > 0,05$.

6.5) Salinidad del suelo

6.5.1) Conductividad Eléctrica y sales totales

La cantidad de sales en el suelo se puede estimar mediante la conductividad eléctrica (C.E) dSm^{-1} .

En la figura 23 muestra, en el eje de abscisas la C.E dsm^{-1} de suelo y el eje de las ordenadas la profundidad en cm. La línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea entera de color azul correspondena al tratamiento adentro (AD) del pivote. El suelo se caracterizó por un alta CE y predominio de aniones y cationes. Los valores de CE disminuyeron con la aplicación de riego en el tratamiento (AD) se logró una rápida disminución de la concentración de las sales comparado con el testigo (AF), se puede observar que los valores de CE fueron significativamente menores ($p < 0,05$) en el tratamiento (AD).

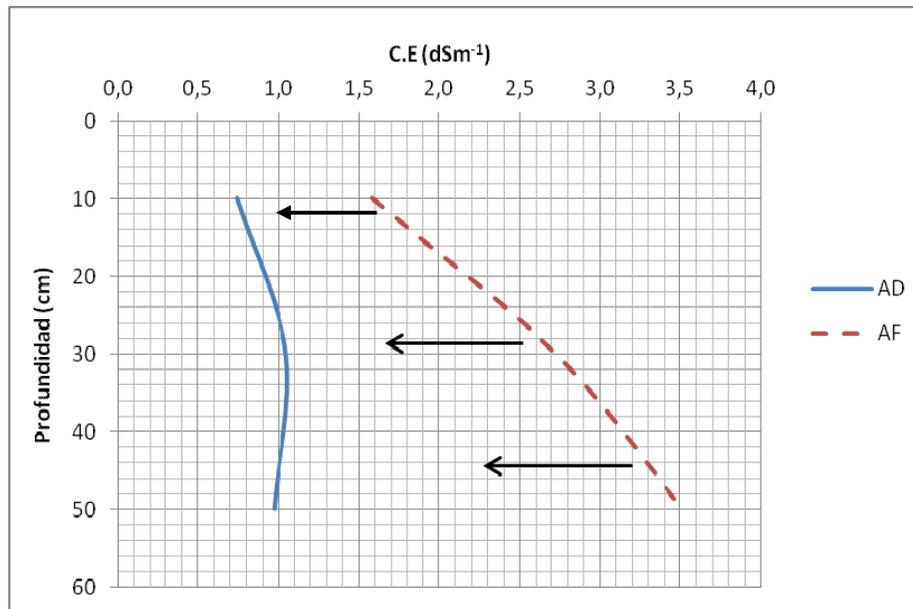


Figura 23. Contenido de sales totales mediante la C.E en el suelo entre los sitios, adentro (AD) y afuera (AF).

La conductividad por profundidad del tratamiento adentro (AD) no mostró diferencias significativas en ninguna de sus profundidades ($p=0,7387$), al igual que el testigo afuera (AF) no difirió ($p=0,4321$).

6.5.2) Concentraciones de Relación Adsorción Sodio en el suelo (RAS)

En la figura 24a, se observan en el eje de abscisas de la RAS del suelo y el eje de las ordenadas la profundidad en centímetros (cm). La línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea entera de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote. Los valores de la RAS entre del testigo (AF) y el tratamiento (AD), no se puede observar que hay diferencia entre sitios $p=0,2025$.

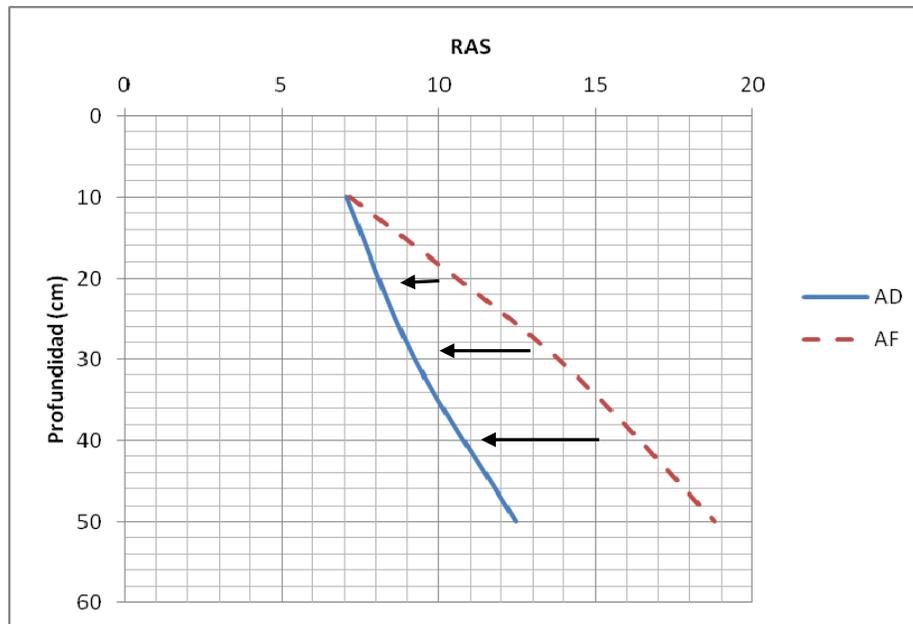


Figura 24a. Valores de la RAS en el suelo entre los sitios, adentro (AD) y afuera (AF).

En la figura 24b, muestra la RAS por profundidad. Se puede observar en el eje de abscisas los valores la RAS del suelo y el eje de las ordenadas la profundidad en centímetros (cm). Las barras incoloras con bordes discontinuo de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y las barras enteras de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote. Se puede observar que el tratamiento adentro (AD) no mostro diferencia en ninguna profundidad $p=0,5212$. Mientras que el testigo afuera (AF), muestra diferencias entre los estratos de 0-20 cm y lo 40-60 cm $p<0,05$.

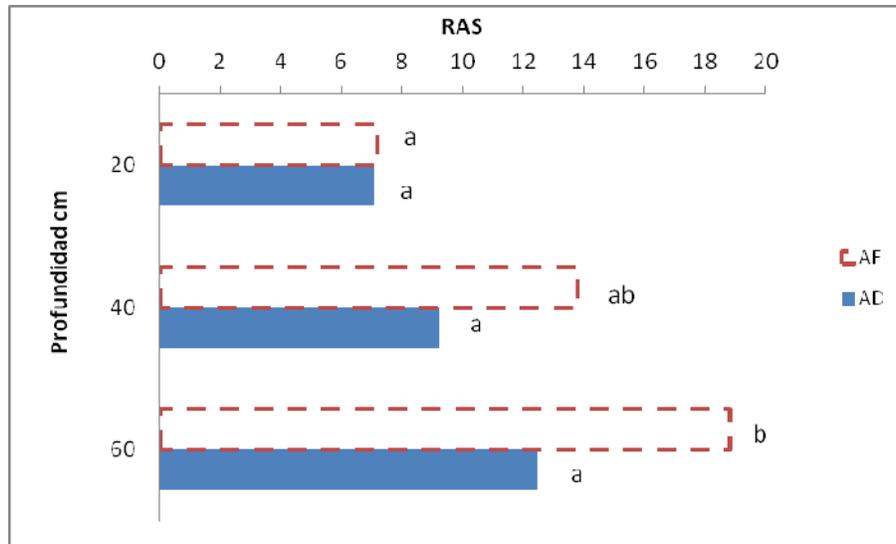


Figura 24b. Valores de la RAS por profundidad de los sitios afuera (AF) y adentro (AD). Letras distintas indican diferencias significativas entre profundidades de un mismo tratamiento test Fisher $p > 0,05$.

6.6) Densidad aparente e infiltración

En la figura 25, se puede observar en el eje de abscisas la densidad gr/cm^3 suelo y el eje de las ordenadas la profundidad en cm. La línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea entera de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote. Los valores de densidad aparente, no muestra diferencia entre el testigo (AF) y el tratamiento (AD), $p = 0,9138$.

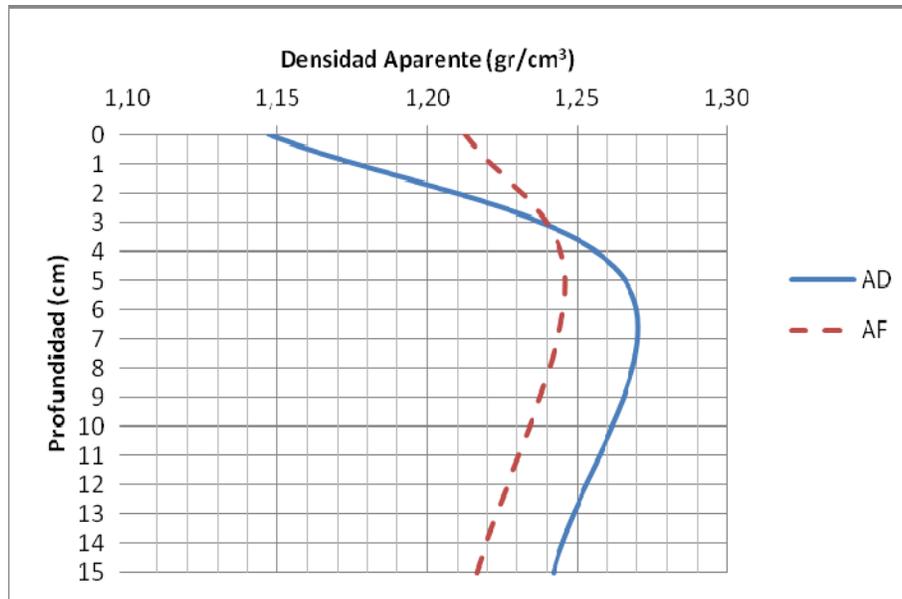


Figura 25. Densidad aparente en gr/cm^3 entre los sitios, adentro (AD) y afuera (AF).

En la tabla 3, se observa la densidad aparente gr/cm^3 por profundidad, la misma no mostro diferencia significativa por tratamientos afuera (AF) y adentro (AD).

Tabla 3: densidad aparente a distintas profundidades en el suelo, (AD) y (AF).

Profundidad	Densidad gr/cm^3	
	AF	AD
0 a 5	1,21 (a)	1,15 (a)
5 a 10	1,25 (a)	1,27 (a)
10 a 15	1,22 (a)	1,24 (a)

Letras distintas indican diferencias significativas entre profundidades de un mismo tratamiento test Fisher $p > 0,05$.



6.6.1) Infiltración

En la tabla 4a, se detalla los resultados de las ecuaciones de infiltración, agrupadas en función de la unidad de suelo, se incluye los coeficientes (A) y los exponentes (B) de la ecuación de Kostiakov, el coeficiente de correlación (R^2), los valores de infiltración básica (IB mm/h).

Tabla 4a. Parámetro de la ecuación de Kostiakov en los grupos (2, 3 y 4)

Grupos	A	B	IB (mm/h)	R^2
AF2	0,1189	0,8916	4,05	0,9985
AF3	0,4121	0,8641	11,74	0,9997
AF4	0,4	0,9067	14,98	0,9993
promedios	0,3106	0,8863	10,26	0,9998

Grupos	A	B	IB (mm/h)	R^2
AD2	0,3998	0,8014	7,439	0,9934
AD3	0,4175	0,8482	10,71	0,998
AD4	0,1734	0,9812	9,75	0,9812
promedios	0,3183	0,8446	7,97	0,9961

En la figura 26a, muestra la infiltración acumulada en milímetros por hora, la línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea entera de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote.

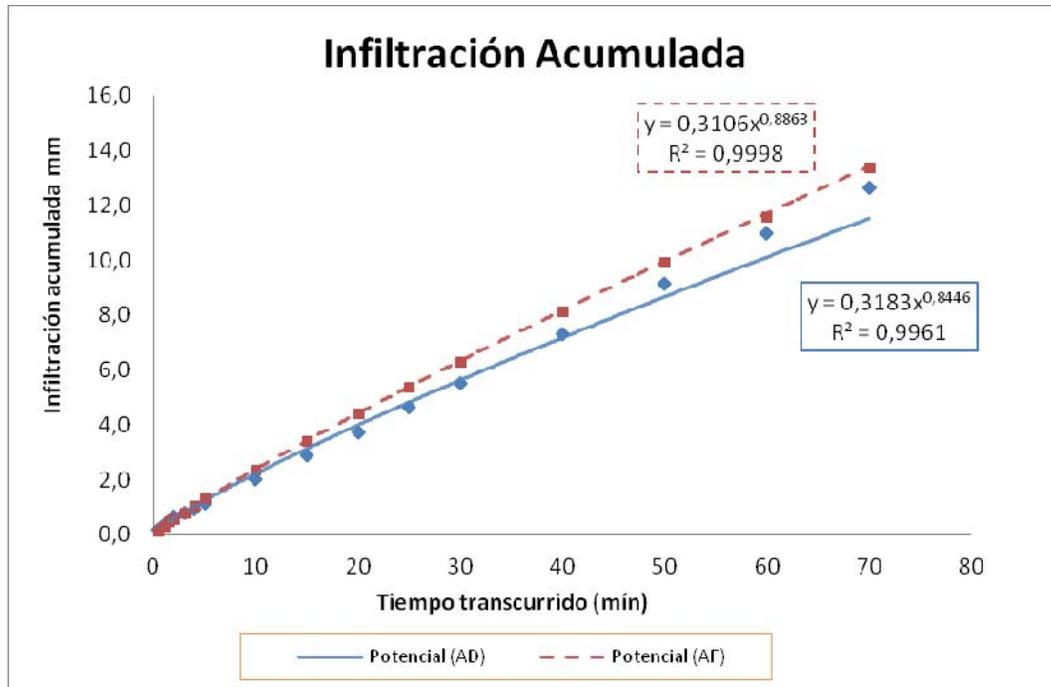


Figura 26a. Infiltración por grupos de datos entre los sitios, adentro (AD) y afuera (AF).

Los resultados de infiltración básica en los sitios agrupado por su homogeneidad no mostraron diferencia significativa según el test de Fisher (*valor p*=0,3958), el tratamiento (AD) mostro un promedio infiltración básica de 7,97 (mm/h), y el testigo (AF) 10,21 (mm/h).

En la tabla 4b, se detalla los resultados de las ecuaciones de infiltración, agrupadas en función de la unidad de suelo, se incluye los coeficientes (A) y los exponentes (B) de la ecuación de Kostiakov, el coeficiente de correlación (R^2), los valores de infiltración básica (IB mm/h).



Tabla 4b. Parámetro de la ecuación de Kostiakov en los grupos (1, 5 y 6)

Grupos	A	B	IB (mm/h)	R2
AF1	0,2092	0,66	1,35	0,9929
AF5	0,3188	0,6657	2,16	0,9984
AF6	0,4683	0,6111	2,06	0,9945
promedios	0,3322	0,6405	1,86	0,9988

Grupos	A	B	IB (mm/h)	R2
AD1	0,0361	1,0148	4,439	0,9587
AD5	0,2776	0,6303	1,42	0,9819
AD6	0,1562	0,7115	1,06	0,9595
promedios	0,1268	0,781	2,04	0,978

En la figura 26b, muestra la infiltración acumulada en milímetros por Hora, la línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea entera de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote.

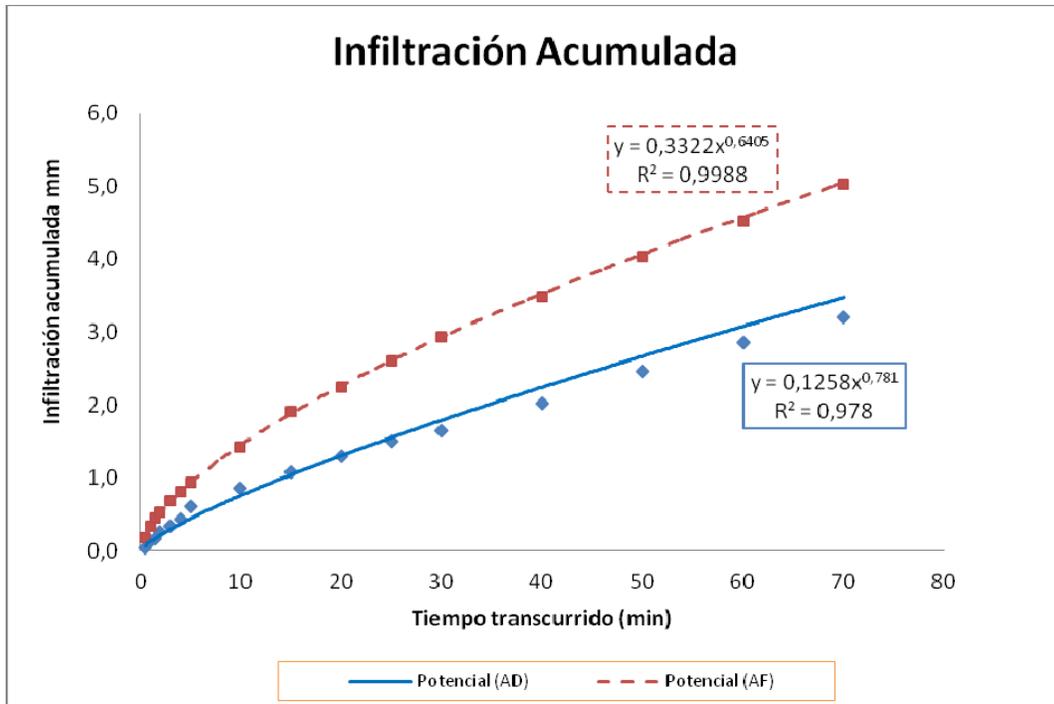


Figura 26b. Infiltración por grupos de datos entre los sitios, adentro (AD) y afuera (AF).

Los resultados de infiltración básica en los sitios agrupado por su homogeneidad no mostraron diferencia significativa según el test de Fisher (*valor p*=0,2794), el tratamiento (AD) mostro un promedio de infiltración básica de 2,04 (mm/h) y el testigo (AF) 1,85 (mm/h).

En la figura 26c, muestra los resultados de infiltración acumulada a nivel general, la línea discontinua de color rojo corresponde al testigo afuera (AF) y la línea entera de color azul corresponden al tratamiento adentro (AD) del pivote.

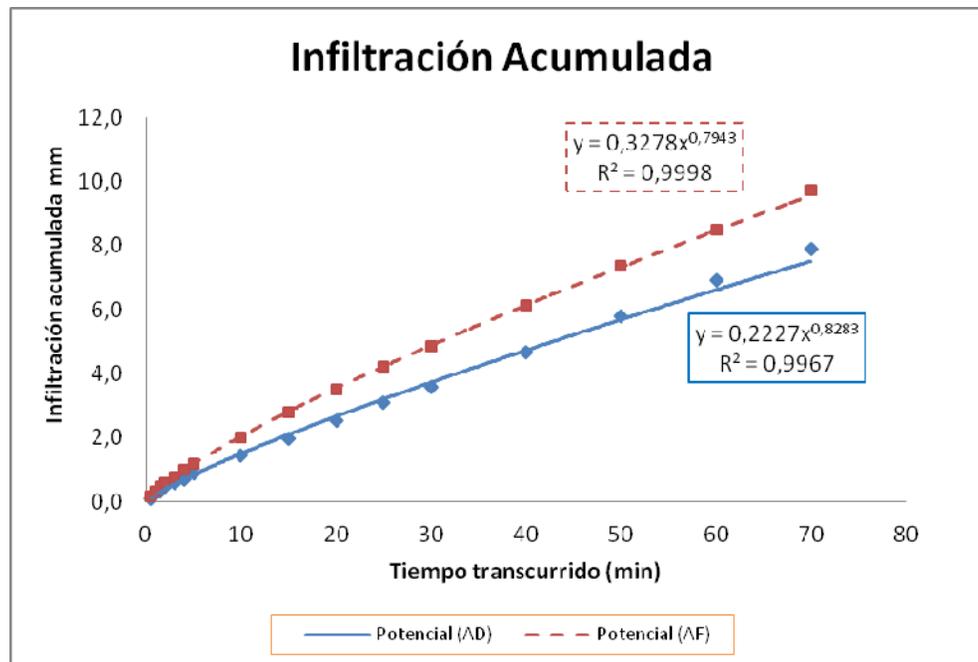


Figura 26c. Infiltración general entre los sitios adentro (AD) y afuera (AF).

Los resultados de infiltración básica en los sitios de estudio no mostraron diferencia significativa según el test de Fisher (*valor p* < 0,430), si bien el testigo (AF) mostro un promedio de infiltración básica de 5,76 (mm/h), mientras que el tratamiento (AD) fue de 4,98 (mm/h).

6.7) Textura

En la tabla 5, se detallan los resultados de textura de los suelos bajo estudio. Los pares seleccionados en cada punto del sitio mostraron características similares en cuanto a su clasificación. Se puede identificar tres puntos de pares a diferentes profundidades, que poseen clases texturales diferentes, (AF3-AD3 entre los 40-60 cm de profundidad, AF4-AD4 entre los 20-40 cm de profundidad y AF5-AD5 entre los 20-40 cm de profundidad).



Puntos	Prof. (cm)	% Arcilla	% Limo	% Arena	TEXTURA
AF1	0-20	15,96	54,72	29,32	FRANCO LIMOSO
AF1	20-40	13,28	61,44	25,28	FRANCO LIMOSO
AF1	40-60	9,96	67,48	22,56	FRANCO LIMOSO
AD1	0-20	16,58	62,2	21,22	FRANCO LIMOSO
AD1	20-40	17,12	68,26	14,62	FRANCO LIMOSO
AD1	40-60	15,54	66,52	17,94	FRANCO LIMOSO
AF2	0-20	11,52	49,88	38,6	FRANCO
AF2	20-40	11,66	51,26	37,08	FRANCO LIMOSO
AF2	40-60	10,38	57,46	32,16	FRANCO LIMOSO
AD2	0-20	13,62	42,18	44,2	FRANCO
AD2	20-40	13,76	51,48	34,76	FRANCO LIMOSO
AD2	40-60	11,78	54,84	33,38	FRANCO LIMOSO
AF3	0-20	10,18	32,1	57,72	FRANCO ARENOSO
AF3	20-40	11,28	35,18	53,54	FRANCO ARENOSO
AF3	40-60	13,22	36,62	50,16	FRANCO
AD3	0-20	12,96	32,16	54,88	FRANCO ARENOSO
AD3	20-40	10,6	27,02	62,38	FRANCO ARENOSO
AD3	40-60	11,98	27,16	60,86	FRANCO ARENOSO
AF4	0-20	18,8	44,34	36,86	FRANCO
AF4	20-40	10,52	39,96	49,52	FRANCO
AF4	40-60	8,68	43,68	47,64	FRANCO ARENOSO
AD4	0-20	20,42	48,78	30,8	FRANCO
AD4	20-40	7,02	34,04	58,94	FRANCO ARENOSO
AD4	40-60	7,28	39,78	52,94	FRANCO ARENOSO
AF5	0-20	15,41	42,8	41,47	FRANCO
AF5	20-40	18,75	58,9	22,35	FRANCO LIMOSO
AF5	40-60	18,3	60,8	20,9	FRANCO LIMOSO
AD5	0-20	19,3	45,5	35,2	FRANCO
AD5	20-40	18,34	47,9	33,76	FRANCO
AD5	40-60	15,36	65,98	18,66	FRANCO LIMOSO
AF6	0-20	18,22	56,56	25,22	FRANCO LIMOSO
AF6	20-40	16,64	64,42	18,94	FRANCO LIMOSO
AF6	40-60	17,76	65,76	16,48	FRANCO LIMOSO
AD6	0-20	17,44	57,24	25,32	FRANCO LIMOSO
AD6	20-40	19,48	66,34	14,18	FRANCO LIMOSO
AD6	40-60	19,36	64,38	16,26	FRANCO LIMOSO



CAPITULO V

7) Discusión

En el presente trabajo se encontraron mayores valores de materia orgánica en el tratamiento (AD), pero de escasa magnitud. Se observó que la aplicación de riego a un suelo manejado bajo siembra directa tiene una tendencia de incrementar la materia orgánica en el estrato superficial, esto se debe a la acumulación de residuos en superficie y la ausencia de remoción del suelo por siembra directa, que llevaría a esperar una ganancia en porcentaje de materia orgánica en los primeros 0-5 centímetros del suelo.

La diferencia entre el tratamiento (AD) y el testigo (AF), si bien no fue significativa, se puede señalar que existe una tendencia que va en aumento para el tratamiento con riego. Según (Ricks Presley *et al.*, 2004) no encontraron mayor proporción de materia orgánica en todo el perfil del suelo luego de 28 a 31 años de riego en Kansas (EEUU). Otros autores tampoco encontraron diferencia muy marcada de materia orgánica en el estrato superficial de suelo bajo condiciones de riego (Verma *et al.*, 2005; De Bona *et al.*, 2006; Martiniello 2007; Nunes *et al.*, 2007).

Este incremento no significativo de porcentaje de materia orgánica bajo riego se explicaría por un aumento de la producción de residuos de cosecha, que son los que estarían aportando al estrato superficial del suelo (Gillabel *et al.*, 2007; Deneff *et al.*, 2008).

Otro de los factores que estaría aportando al incremento de materia orgánica en el riego serían los residuos de los cultivos, una alta actividad microbiana y abundancia de hongos de suelo o cualquier condición que incremente la mineralización de la materia orgánica (Kalibtz *et al.*, 2000; Chantigny 2003).



La humedad del suelo en zonas áridas y semiáridas es generalmente pobre aunque esto depende naturalmente de la época del año, de las precipitaciones, y de las condiciones locales (por ejemplo, la proximidad a ríos o lagunas).

En el siguiente experimento se puede observar, que la aplicación de riego incrementa en forma significativa las condiciones óptimas de humedad del suelo (AD) comparado con el testigo (AF) en todos los estratos. Esto lleva a diferentes discusiones en cuanto a la clasificación taxonómica de estos suelos, que en principio fueron clasificados dentro del orden aridisoles, y que por el cambio de régimen de humedad, algunos autores clasifican como molisoles o vertisoles (CFI, 2009).

Lo valores de pH encontrado indican que los suelos del área de estudio son neutros a levemente alcalinos, no encontrando diferencias entre el tratamiento (AD) y testigo (AF), los resultado de pH bajo riego para los primero 0-20 centímetros de profundidad arrojan un valor de $(7,85 \pm 0,37)$ que se encuentran dentro del intervalo indicado como óptimo para la mayoría de los cultivos (Whittaker *et al.*, 1959 citado en USA 1999). Por lo tanto, similar a lo ocurrido con la salinidad bajo riego, el pH tampoco se modificó aún en valores suficientes para afectar negativamente a los cultivos realizados.

El proceso de alcalinización del suelo bajo riego ha sido reportado por otros autores, diferenciándolos de los resultados de este trabajo. En las regiones semiáridas y subhúmedas pampeanas (Argentina) se han medido incrementos de entre 0,5 y 1 unidad de pH en condiciones de riego suplementario (Andriulo *et al.*, 1998; Peinemann *et al.*, 1998; Pilatti *et al.*, 2004; Vazquez *et al.*, 2008).

El movimiento de sales en sistemas con riego suplementario a los observados ha sido descrito por otros autores.



Lavado (1977) en una región de características climáticas similares a la del presente experimento, determino la lixiviación de las sales del suelo y acumulación en las áreas con impedancias de "toscas", a mayor profundidad. La conductividad eléctrica experimento cambio con la aplicación del riego complementario, este habría conducido a una disminución de la CE en el tratamiento (AD) en todos los perfiles del suelo. Con una tendencia a que el contenido de sales registre un movimiento de hacia los horizontes subsuperficiales.

Los flujos de agua de riego y/o de lluvia son uno de los factores determinantes del movimiento de las sales de los suelos. Para que ocurra este movimiento se debe producir un balance hídrico positivo. Es decir, las entradas de agua al sistema ocurrida por riego en exceso (riego de lavado) o lluvias importantes en cantidad y/o intensidad durante un ciclo del cultivo (Tedeschi y Del´Aquila 2005; Lavado 2009).

En el tratamiento (AD) con riego presenta valores de conductividad eléctrica actuales muy inferiores al testigo (AF). En todos los estratos de suelos analizados (AD, 0-60 centímetros).

Dentro todo el rango de valores de CE, se observa que los suelos regados tienen tendencia a disminuir la CE. Esto se debe al bajo contenido salino del agua para riego ($C.E\ 0,25\ dSm^{-1}$), de acuerdo a la clasificación de agua para riego elaborado por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (1954) estaría situada en la clase $C_1\ S_1$, lo que significa que respecto al contenido de sales estas puede usarse para el riego de todos los cultivos en casi todos los suelos, sin que sea probable que se desarrollen condiciones de salinidad que puedan afectar los rendimientos normales. Los valores de CE de superficie no son limitantes para la mayoría de los cultivos hortícolas y forrajeros que se pueden hacer en la región bajo este método de riego (cebolla, maíz, tomate, alfalfa, etc).



Ayer y Wescot (1958), y Rohoades, Kandiah y Mashli (1992) determinaron la tolerancia de los cultivos y el rendimiento potencial bajo la influencia de distintos niveles de salinidad en el suelo. Encontraron que las plantas de los cultivos expresaban 100% de su potencialidad productivo por debajo de ciertos valores de C.E del suelo, variables según la especie. Estos valores límites de C.E (dSm^{-1}) para el máximo potencial de los principales cultivos extensivos, según el grado de sensibilidad eran: Maíz $1,7 \text{ dSm}^{-1}$, Soja $5,0 \text{ dSm}^{-1}$, Trigo $6,0 \text{ dSm}^{-1}$, Sorgo $6,8 \text{ dSm}^{-1}$ y Cebada $8,0 \text{ dSm}^{-1}$. Estos resultados muestran que en la región estudiada bajo este manejo, el efecto de las sales en el suelo no limitaría la realización de estos cultivos.

Si bien los resultados de la RAS en el suelo no se vio reflejado una diferencia para el tratamiento como la aplicación del riego, si se puede observar en la grafica (24a y 24b), que hay una tendencia a disminuir el contenido de la RAS, esto se debe a la baja relación de adsorción de sodio para el agua de riego (C.E $0,25 \text{ dSm}^{-1}$, RAS $0,63$).

Los valores de la RAS para el tratamiento mostraron una tendencia a disminuir en todos los estratos (0-60 cm de profundidad). Esto muestra que no se produce una mayor relación de Na^+ frente a Ca^{+2} y Mg^{+2} , asociado a la lixiviación de cationes que indica la disminución de la C.E.

Estos valores de la RAS en superficie del suelo no sería una limitante para la producción ya que los valores son bajos de acuerdo a una clasificación propuesta por Richards (1956).

Los valores de RAS superior a 5,0 se consideran sin problema de infiltración, entre 5 y 10 con problema en aumento, y con más de 15 severos problemas (Bernal *et al* 2001).



La densidad aparente no muestra diferencia en el primer estrato de suelo 0-5 centímetros, si muestra una tendencia a aumentar para los demás estratos, esto se debe a la actividad de la siembra directa.

Pisco, *et al* 1996, trabajaron con ensayos de cultivos de maíz, midiendo la densidad aparente y materia orgánica bajo dos formas siembra directa y labranza convencional, y concluyeron que mediante siembra directa aumenta el contenido de materia orgánica y disminuye la densidad aparente del suelo en los primeros estratos 0-6 centímetro profundidad, (situación no observada hasta el momento en el ensayo), probablemente porque aun existe influencia de una disminución de densidad aparente debido a la roturación de la situación inicial.

Este mismo autor observó que para los demás estratos de 6-15 cm de profundidad, la densidad aparente no manifestó ningún cambio con respecto al testigo.

La velocidad de infiltración inicial para el testigo fue superior al tratamiento (AD), esto se debió a que el testigo tenía menos contenido de humedad en el suelo.

Si bien a nivel general no hay diferencia significativa en la infiltración básica, el testigo (AF) mostró mayor infiltración básica que el tratamiento (AD).

Los suelos bajo estudio mostraron características similares en cuanto a la clasificación textural.



CAPITULO VI

8) Conclusiones

- La evaluación de la aplicación del riego muestra valores dentro de parámetros aceptados con muy buena eficiencia de aplicación y uniformidad. Por lo que el aumento de humedad encontrado en el tratamiento (AD) mantiene una distribución homogénea.
- No se observa aumento de los valores de RAS ni de pH en los sitios regados frente a la situación inicial. Por otro lado se observa una disminución de la salinidad en el tratamiento (AD) frente al testigo (AF). Estas dos situaciones indican que la práctica de riego no afectó la capacidad agrícola del suelo.
- Si bien la materia orgánica no mostró cambios significativos, hay una tendencia a un incremento de la misma en los suelos cultivados.
- Los valores de densidad aparente e infiltración no muestran una tendencia definida. Se sugiere continuar con estas determinaciones durante un tiempo más prolongado. Se observa en caso de la infiltración básica (IB) una influencia muy marcada del ambiente.
- Los puntos seleccionados mostraron similitud en la clasificación textural.
- Teniendo en cuenta la calidad del agua del Río Negro (C.E de $0,25 \text{ dSm}^{-1}$ y RAS de $0,63$), no afectaría las áreas de nuevos emprendimientos de riego por problema de salinización, sodificación para la situación estudiada o condiciones similares.



CAPITULO VII

9) Bibliografía

- Amiotti, N.; Bravo, O. (2006). Suelos de la Terrazas de río colorado. Características e impacto de riego por gravedad XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 19 a 22 de septiembre del 2008 Salta Argentina.
- Andriulo, A.; Galetto, M.L.; Ferreyra, C.; Cordone, C.; Sasal, C.; Abrego, F.; Galina, J.; Rimatori, F. (1998). Efecto de once años de riego complementario sobre un argiudol típico pampeano. Ciencia del Suelo 16: 125-127.
- Ardakani, A. J.; Zahirnia, A.R. (2006). Effects of gypsum application in different unstable slopes on surface runoff and soil erosion. 18th World Congress of Soil Science (July 9-12, 2006). Philadelphia, USA.
- Departamento Provincial de Agua y Área de planificación y evaluación de los recursos hídricos (2014).
- Ayers, R.; Westcot, D. (1985). Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and Drainage. Paper n° 29 rev 1. FAO, Roma. 174 p.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. (1987). La calidad de agua para agricultura Estudio FAO: Riego y Drenaje Roma N° 29 (Rev 1) 173p.
- Barzegar, A.R.; Oades, J.M.; Rengasamy, P.; Giles, L. (1994). Effect of sodicity and salinity on disaggregation and tensile strength of an Alfisol under different cropping system. Soil Till. Res. 32, 329-345.



- Bernal, C.S.; Ruiz, R.C.; Ulloa, A.O. (2001). Caracterización de la salinidad de los suelos y agua del valle del río capiopo, Boletín INIA N° 70 ISSN 0717-4829. 32p.
- Casamiquela, O. (1995). El Riego en la Provincia de Río Negro. Auge, crisis y futuro. Ed. Fundación Proyecto Sur. Viedma. Argentina. 268p.
- CFI (2009). Estudio del impacto de la producción frutícola sobre la calidad de los suelos del Alto Valle del Río Negro. Estación experimental agropecuaria alto valle .crpn-inta. Informe final. Agosto del 2008.
- Chambouleyron, J. (2005). Riego y drenaje, técnica para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable. Universidad Nacional de Cuyo, Ediunc. Tomo I. 470 p. Tomo II. 470 p.
- Chambouleyron, J.L. (1980). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. Fascículo 432 Riego y drenaje Editorial ACME.
- Chantigny, M.H. (2003). Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. Geoderma 113: 357-380.
- Christiansen, J.E. (1942). Irrigation by Sprinkling. Calif. Agric. Expt. Sta. Bul. 670, Univ. of California, Davis Calif, USA.
- Costa, J.L.; Aparicio, V. (2000) Efecto del sodio en la degradación de los suelos del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 11ava Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo. 22 al 27 de Octubre de 2000. Buenos Aires. Argentina.
- Cucci, G.; Caliandro, A.; Lacolla, G. (2006). Structural aggregates' stability in soils irrigated with sodic-saline water



and subsequently reclaimed. 18th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.

- Das, M.; Singhandhupe, R.B.; Kanan, K.; Anthony, E.; Chakrabarty, H. (2006). Soil crop response under wastewater irrigation: a case study in sub humid Orissa 18 th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.
- Davis, J.G. (2006). Manure: the enemy of the soil and 18 th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006) Philadelphia, USA.
- De Bona, F.D.; Bayer, C.; Bergamaschi, H.; Dieckow, J. (2006). Soil organic carbon in sprinkler irrigation systems under no-till and conventional tillage. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 30: 911–919.
- Deneff, K.; Stewart, C.E.; Brenner, J.; Paustian K. (2008). Does long-term center-pivot irrigation increase soil carbon stocks in semi-arid agro-ecosystems? *Geoderma*. 145: 121–129.
- Diario la palabra visto en: <http://www.diariolapalabra.com.ar/noticia/67381/IDEVI-Impulsan-Plan-Nacional-de-Riego>. El día 02 de junio de 2014 a las 14:58 pm.
- Dos Santos, P.R.; Ruiz, H.A.; Neves, J.C.L. (2006). Respuesta de la *Phaseolus vulgaris* a presión osmótica pH y concentración de Na^+ , Cl^- y HCO_3^- en solución nutritivas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 19 al 22 de septiembre el 2006. Salta Argentina.
- Falcón, R.L. (2002). "Degradación del suelo: causas, procesos evaluación e investigación" Centro Interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial. Universidad Nacional de los Andes. Mérida, Venezuela.SC-75.



- FAO. (2006). Dirección de Estadística de la FAO. [Hpp://www.fao.org/es/ess/es/lindx.es.asp](http://www.fao.org/es/ess/es/lindx.es.asp).
- Ferrer, J.A.; Ourracariet, G. (1996). Riesgo de colapso en suelos yesosos incorporados al riego. XV° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa, Argentina, 19 – 24 mayo, p. 297.
- Forsythe, W.; Díaz-Reneu, R. (1969). La densidad aparente del Suelo y la interpretación de análisis de laboratorio para el campo. *Turrialba* 19 (1): 128-131.
- Gillabel, J.; Deneff, K.; Brenner, J.; Merckx, R.; Paustian, K. (2007). Carbon sequestration and soil aggregation in center-pivot irrigated and dryland cultivated farming systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1020–1028.
- Grassi, C.J. (1998). Fundamentos del riego. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Merida. Venezuela.
- Gupta, B.R. (2006). Efficacy of organic amendments integrated with gypsum on amelioration and crop productivity of sodic land. 18th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.
- Hermann, D.; Hein, P. (1990). Performance characteristics of self – propelled center pivot sprinkler irrigation system. *Transaction of ASAE* 31 (2): 538-542.
- Hoekstra, A.; Hung, P.Q. (2002): virtual Water Trade: A quantification of virtual Water Flows bet-ween nations in relation to international food trade. Value of Water Research Report Series, N°.11, UNESCO-IHE, deficit. The Netherlands.



- InfoStat Versión libre (2011). Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W.; FCA.; Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Irurtia, C.B.; Mon, R. (1998). Cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos de la Región Pampeana después de cinco años de riego suplementario. XVI° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Argentina, 4 – 7 mayo, p. 241 – 242.
- Jayawardane, N.S.; Chan, K.Y. (1994). The management of soil physical properties limiting crop production in Australian sodic soils. A review. Australian Journal of Soil Research. 32 (1) pp. 13-44.
- Jimenez, R.M. (1998). Concepto de sostenibilidad en agricultura. En Agricultura sostenible, Jimenez R.M.; Lamo J. (Coord). Agrofuturo, Life y Mundi-Prensa. Madrid, Spain.
- Kalbitz, K.; Solinger, S.; Park, J.H.; Michalzik, B.; Matzner, E. (2000). Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. Soil Sci. 165: 277-304.
- Kaur, J.; Choudhary, O.P.; Sing, B. (2006). Microbial biomass and by different extractable organic carbon pools as influenced under rice-wheat system. 18th World Congress of Soil Science (July 9-12, 2006). Philadelphia, USA.
- Keller, J.; Bliesner, R.D. (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. AVI. Blook. Van Nostrand Reinhold. New York, USA.
- Kostiaikov, A.N. (1940). On the dynamic of the coefficient of wáter-percolation in soils and on the necessity for studying it



from a dynamic point of view for purposes of amelioration. VI Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, Paris, Francia.

- Kowalenko, C. (1993). Extraction of available sulfur. En Carter (Ed). Soil Sampling and Methods of Soil Analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers.
- Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos. (1973). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. USDA. Manual de agricultura n° 60 (6ta edición). Riverside. Washington, USA. 172 p.
- Lavado, R.S.; (1977). Salinización y alcalinización de suelos pampeanos bajo riego complementario. Revista de Investigaciones Agropecuarias INTA. XIII: 41-57.
- Lavado, R.S.; (2009). Salinización y sodificación de los suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. Pp45-58 en: Taboada M.A y Lavado R.S. (Eds.). Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.
- Lentz, R.D.; Sjoka, R.E.; Carter, D.L. (1996). Furrow Irrigation Water-Quality Effects on Soil Loss and Infiltration. Soils. Sci. Soc. Am. J. 60:238-245.
- Levy, G. (2000). Sodicity. In: Handbook of soil science 2000. Editor: Malcolm E. Summer, CRC Press. Pp 37.
- Lockeretz, W. (1977). Agriculture and Energy. Academ Press. Oxford, U.K.
- Loomis, R. S.; Connor, D. (1995). Crop Ecology: Productivity and Management in agricultural Systems. CUP.



- López, G. (1996). Los recursos naturales y el desarrollo socioeconómico de Castilla – La Mancha. Situación, Series Estudios Regionales, Monografía de Castilla – La Mancha. Toledo, Spain.
- Lowery, B.; Arshad, M.A.; Lal, R.; Heickey, W.J. (1996). Soils Water Parameters and Soil Quality.
- Martiniello, P. (2007). Biochemical parameters in a Mediterranean soil as effected by wheat–forage rotation and irrigation. *Europ. J. Agronomy* 26: 198–208.
- Merriam, J.; Shearer, M.; Burt, C. (1980). Evaluating irrigation systems and practices. In. “Design and operation of Farm Irrigation Systems” M.E Jensen ASAE monograph N° 3pp. 721 – 760.
- Merriam, J.L.; Keller, J. (1978). Farm Irrigation System evaluation: a guide for management. Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Minhas, P.S.; Gupta, R.K. (1992). Quality of irrigation water. Assessment and Management. Information and publication, ICARD, p 102.
- Norma ANSI/ASAE Standar S436. (1995). Test procedure for determining the uniformity of water distribution of centre pivote, corner pivote, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. In: ASAE Standars. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
- Norma Argentina IRAM 29578 (2009). Preparación de la muestra de suelo de uso agropecuario para análisis físico y químico. Ref Num. IRAM (SAGPyA) 29578: 2009.



- Norma UNE-EN ISO 11545. (1994). "Equipos de riego. Pivote central y sistemas de avance frontal con boquillas para aspersores o difusores. Determinación de la uniformidad en la distribución del riego"
- Nunes, J.M.; López-Piñeiro, A.; Albarrán, A.; Muñoz, A.; Coelho, J. (2007). Changes in selected soil properties caused by 30 years of continuous irrigation under Mediterranean conditions. *Geoderma* 139: 321–328.
- Oweis, T.Y. (1994). Water Harvesting concepts and techniques for agriculture. ICARDA Course: Water Harvesting for Agriculture, November 6-17 th. Aleppo, Syria.
- Peinemann, N.; Díaz Zorita, M.; Villamil, M.B.; Lusarreta, H.; Grunewald, D. (1998). Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. *Ciencia del suelo* 16: 39-42.
- Pieter, L.; Etchevehere, A.; Etchevehere, P. (1966). Norma de reconocimiento de suelo. Secretaria de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Instituto de Suelo y Agrotecnia. Buenos Aires. R.A.
- Pilatti, M.; Marano, R.; De Orellana, J. (2004). Supplementary irrigation with sodium bicarbonate water in Molisoles of Santa Fe. Sodification and alkalization. *Agrochimica*. 48: 233-248.
- Pisco, R.R.; Taboada, M.A.; Gil, R. (2006). Efecto a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de una argiudol típico de la pampa ondulada argentina. *Rev. Fac. Nac. Agr. Medellín* vol 59 N°1 Medellín Jan./June 2006.



- Pizarro, F. (1985). Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola Española S.A., 2° Ed., Madrid. Cap. 3 y 4. 542 p.
- Prasad, P.R.; Srinivas, D.; Satyanarayana, T.V. (2006). Effects soil resource investigation for drainage installations in mutluru canal command of Krishna western delta, Andhra Pradesh, India. 18 th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.
- Qadir, M.; Noble, A.; Yuar, S.K.; Murtaza, G. (2006). Crop-based management opportunities for sodium – and boron-affected soils. 18th World Congress of Soil Science (July 9-12, 2006). Philadelphia, USA.
- Rashid, A. (2006). Soil salinity and associated nutrient constraints in Indian subcontinent. 18th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.
- Requena, A.; Martínez, R.S. (2010) El riego con grandes maquinas. Documento informativo, visto en http://inta.gob.ar/documentos/el-riego-con-grandes-maquinas/at_multi_download/file/fyd63_riego.pdf el día 02 de junio de 2014, a las 15 pm.
- Rhoades, J.D. (1997). Sustainability of irrigation: An overview of salinity problems and control strategies. Annual Conference: Footprints of Humanity. Reflection on fifty years of water resource developments. Lethbridge, Alberta, Canada , 3-6 Junio, p. 1-42.
- Richards, L. Editorial. (1956). Diagnostico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de agricultura N° 60. Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América. Departamento de Agricultura (USDA) Washington, 172pp.



- Ricks Presley, D.; Ransom, M.D.; Kluitenberg, G.J.; Finnell, P.R. (2004). Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semiarid soils in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1916–1926.
- Rohades, J.L.; Kandiah, A.; Mashali, A.M. (1992). The use of saline water for crop production. FAO, Irrigation and Drenaje, Peppers N°48, Roma.
- Sánchez Girón Renedo, V. (1996). *Dinámica y Mecánica de Suelos*. Ed. Agrotécnicas, S. L. Madrid. 426 pp.
- Scher, S.J. (1999). Degradación del suelo: Una amenaza para la seguridad alimentaria de los países en desarrollo en el año 2002?. En una visión de la alimentación, la agricultura y el medio ambiente. Trabajo N° 27. Serie Visión 2020. Dto. De Economía Agraria y de Recursos Naturales, Universidad de Maryland, College Park. USA. 4p.
- Singh, C.S.; Gupta, S.K.; Sewa Ram. (1996). Assessment and management of poors quality waters for crop production: A simulation model (SWAM). *Agricultural water management* 30: 25 – 40.
- Singh, R.P.; Singh, R.K.; Singh, S.N.; Singh, R.S. (2006). Micronutrients (Cu, Zn, Fe, Mn, Mo) status of a sodic under cultivation of aromatic crops. 18th World Congress of Soil Science (July 9-12, 2006). Philadelphia, USA.
- Suarez, D.L. (1981). Relation ship between pH and SAR and alternative method of estimating SAR of soil or drainage water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:469-475.
- Tarjuelo, J. (1999). *El riego por aspersión y su tecnología*. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. 670 p.



- Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión y su tecnología. 3ª Edición. Ediciones Mundi Prensa. España.
- Tedeschi, A.; Dell'Aquila, R. (2005). Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agric. Water Manage.* 77: 308-322.
- Umali, D.L. (1993). *Irrigation-Induced Salinity, A Growing Problem For Development and Environment*. Technical Papers, World Bank, Washington D.C.
- UNEP. (1992). *Atlas of desertification*. United Nations Environment Programme and Edward Arnold, Sevenoaks. Visto en http://www.unep.org/geo/geo4/report/03_land.pdf. 02 de junio de 2014 a las 10:27 am.
- USA. (1999). *Soil quality test kit guide*. NRCS Soil Quality Inst., Auburn, AL.
- USDA. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del Suelo*. 81 pág. Visto el día 27 de abril del 2014 a las 10:52 am. En: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/imagenes/diagtexit.gif>.
- Varallyay, G. (2002). *Environmental Stresses induced by salinity/alkalinity in the Carpathian Basin (Central Europe)* Symposium N° 33 Paper N° 1570. 17th World Congress of Soil Science 14 al 21 de agosto 2002. Tailandia.
- Vázquez, M. (2003). *Evaluación de la alteración de algunas propiedades edáficas bajo riego complementario en suelos de la provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral.
- Vázquez, M.; Millán, G.; Gelati, P. (2008). Simulación del efecto del riego complementario en un suelo Udipsament típico. *Ciencia del suelo* 26 (2): 195-203.



- Verma, S.B.; Dobermann, A.; Cassman, K.G.; Walters, D.T.; Knops, J.M.; Arkebauer, T.J.; Suyker, A.E.; Burba, G.G.; Amos, B.; Yang, H.; Ginting, D.; Hubbard, K.G.; Gitelson, A.A.; Walter-Shea, E.A. (2005). Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. *Agric. For. Meteorol.* 131: 77-96.
- Vincent, B.; Wu, J.; Vidal, A.; Yang, J.; Bouarfa, S.; Tong, J. (2006). The environmental evolution of the Hetao irrigation district: an equilibrium between the combat facing irrigation induced soil salinity and the respect of the receiving media. 18th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.
- Whittaker, C.W.; Anderson, M.S.; Reitemeier, R.F. (1959). Liming soil, an aid to better farming. USDA. *Farmers Bul.* 2124.
- Wiedefeld, R.; Enciso, J. (2006). Effect of water availability on sugarcane responses to N fertilization, 18 th World Congress of Soils Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.
- Wong, V.N.L.; Greense, R.S.B.; Dalal, R.C.; Murply, B.W.; Mann, S. (2006). Carbón dynamics in salt-affected soils. 18th World Congress of Soil Science (July 9-12, 2006). Philadelphia, USA.
- Zimmermann, E.W. (1976). *Introduction to Word Resource*. Harper and Row, New York, NY, USA.
- Zinck, J.A. (2000). Monitoring soil salinity form remote sensing data. 11^{ava} Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación de Suelo. 22 al 27 de octubre del 2000. Buenos Aires. Argentina.

