Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Trabajo Final de Carrera

Salinidad, sodicidad y pH en suelos con producción bajo cubierta del cinturón hortícola Platense.

Alvaro, Leandro

N° legajo: 23757/9

DNI: 29 083 702

E-mail: leoalvaro22@hotmail.com

Teléfono: 341-6230610

Capozucca, Claudio

N° legajo: 24576/0

DNI: 29 808 050

E-mail: ciudadnaturaleza@hotmail.com

Teléfono: 11-2155-5095

Director: Ing. Ftal. Pablo R. Gelati

Codirector: Dr. Daniel Bennardi

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 RESUMEN 9

2 INTRODUCCIÓN 10

2.1 Degradación de suelos 11

2.2 Calidad de agua 15

2.3 Hipótesis 17

2.4 Objetivo general 17

2.5 Objetivos específicos 17

3 MATERIALES Y MÉTODOS 17

3.1 Ensayo de campo 17

3.2 Muestreo de suelo 18

3.3 Acondicionamiento de las muestras de suelo 19

3.4 Suelo 19

3.5 Análisis estadístico 19

4 RESULTADOS 20

4.1 Suelo 20

4.1.1 -Muestreo en superficie*: (A)* 20

4.1.2 -Muestreo lateral: (B) 21

4.1.3 -Muestreo en profundidad: *(C)* 22

5 DISCUSIÓN 23

5.1 Análisis de regresiones de los datos experimentales 25

6 CONCLUSIONES 27

7 BIBLIOGRAFÍA 28

8 ANEXO: 31

8.1 Ilustraciones 31

8.2 Tablas 33

INDICE DE ILUSTRACIONES Y FIGURAS

Ilustración 1. Esquema del ensayo, profundidad de la cinta de riego y la disposición de los tubos de drenaje. Sitios de muestreo superficie (A), lateral (B) y profundo (C), repeticiones 1, 2 y 3. 32

Figura 1. Valores de pH real (1:2,5 suelo/H_2O) según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20=riego a 0,20m., CD=con drenaje, SD=sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores…….. 35

Figura 2. Valores de CE según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego. 36

Figura 3. Valores de RAS según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego. 37

Figura 4. Valores de Na según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 20cm., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego. 38

Figura 5. Valores de Ca y Mg según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego. 39

Figura 6. Valores de pH real (1:2,5 suelo/H_2O) según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores. 40

Figura 7. Valores de CE según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores. 41

Figura 8. Valores de RAS según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores. 42

Figura 9. Valores de Na según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, rectas de color diferentes indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego. 43

Figura 10. Valores de Ca y Mg según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego. 44

Figura 11. Valores de pH actual (1:2,5 suelo/H2O) según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. 45

Figura 12. Valores de CE según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Rectas de diferente color indican diferencias significativas entre temporadas..... 46

Figura 13. Valores de RAS según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores. 47

Figura 14. Valores de Na según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de

muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje. 48

Figura 15. Valores de Ca y Mg según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores..... 49

Figura 16. Regresión lineal entre los valores de pH real (1:2,5) en función de la conductividad eléctrica (CE). 50

Figura 17. Regresión lineal entre los valores de sodio en el extracto de saturación en función de la conductividad eléctrica (CE). 51

Figura 18. Regresión lineal entre los valores de calcio y magnesio en el extracto de saturación en función de la conductividad eléctrica 52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos establecidos en el ensayo. 33

Tabla 2. Características químicas del agua de riego de cinco sitios de muestreo (Andreau 2013). *Referencia: (1) corrección de la RAS de acuerdo a Ayers y Wescot (1986) sobre la base del contenido relativo de CO_3H^-, Ca y CE*..... 34

Tabla 3. Test de Tuckey de la variable pH para la interacción temporada-drenaje-profundidad de riego 53

Tabla 4: Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica y temporada 53

Tabla 5. Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica con drenaje y sin drenaje 53

Tabla 6. Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica y la profundidad del riego 54

Tabla 7. Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio (RAS) y temporada.....54

Tabla 8. Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio (RAS) y drenaje.....54

Tabla 9: Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio (RAS) y profundidad de riego. 55

Tabla 10: Test de Tuckey de la variable sodio (Na) para la interacción temporada, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L) 55

Tabla 11: Test de Tuckey de la variable sodio (Na) para la interacción drenaje, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L).....55

Tabla 12: Test de Tuckey de la variable sodio (Na) para la interacción profundidad de riego, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L) 56

Tabla 13: Test de Tuckey de la variable calcio y magnesio para la interacción temporada ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L) 56

Tabla 14: Test de Tuckey de la variable calcio y magnesio para la interacción drenaje, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L)...56

Tabla 15: Test de Tuckey de la variable calcio y magnesio para la interacción profundidad de riego, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L). 57

Tabla 16.Test de Tuckey de la variable pH para la interacción temporada-drenaje-profundidad de riego.....57

Tabla 17.Test Tuckey para la variable conductividad eléctrica y la interacción temporada drenaje y profundidad de riego..... 57

Tabla 18. Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio y la interacción temporada, drenaje y profundidad de riego..... 58

Tabla 19.Test de Tuckey para la variable sodio factor drenaje 58

Tabla 20. Test de Tuckey para la variable sodio y factor profundidad de riego 59

Tabla 21. Test de Tuckey para la variable sodio y factor temporada 59

Tabla 22.Test de para la variable calcio y magnesio y el factor temporada 59

Tabla 23. Test Tuckey para la variable calcio y magnesio y el factor drenaje .. 60

Tabla 24.Test de Tuckey para la variable calcio y magnesio y el factor profundidad de riego 60

Tabla 25. Test de Tuckey para la variable pH y el factor temporada 60

Tabla 26.Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica y el factor temporada 60

Tabla 27.Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio y los factores temporada, drenaje y profundidad de riego. 61

Tabla 28.Test de Tuckey para la variable y el factor drenaje. 61

Tabla 29.Test de Tuckey para la variable calcio y magnesio y los factores temporada drenaje y profundidad de riego..... 61

Tabla 30. Test de Tuckey para la regresión lineal entre los valores de pH en función de la conductividad eléctrica..... 62

Tabla 31.Test de Tuckey para la regresión lineal de los valores de sodio en función de la conductividad eléctrica..... 62

Tabla 32. Test de Tuckey para la regresión lineal para los valores de calcio y magnesio en función de la conductividad eléctrica. 63

1 RESUMEN

Tanto el drenaje subterráneo como el riego subsuperficial son herramientas que pueden contribuir a atenuar la degradación química y física del recurso edáfico en el Cinturón Hortícola Platense. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto que tiene el drenaje subterráneo y el riego localizado a diferentes profundidades a lo largo del tiempo, sobre la acumulación y la dinámica de las sales en el lomo, en un suelo de la Serie Centeno, ubicado en la E.E. J. Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP en la localidad de Los Hornos.

Se tomaron muestras de suelo en tres sitios, superficie (A), al costado del mismo (B) y a 0,20 m de profundidad debajo de la línea de riego (C), con tres repeticiones cada uno, a lo largo del lomo. Los parámetros edáficos analizados fueron pH, Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Conductividad Eléctrica (CE) y la concentración de iones presentes en el extracto de saturación: Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Sodio (Na^{+}).

En los tratamientos con drenaje en cuanto a salinidad (CE) y sodicidad (RAS) se observa el efecto positivo del mismo ya que, dichos valores se encuentran por debajo y en el límite de los valores establecidos como perjudiciales para los cultivos en general (CE: 4dS/m y RAS: 13), mientras que, en la situación sin drenaje, éstos valores se superan.

En el caso de la profundidad de la cinta de riego no se obtuvieron diferencias significativas en las variables analizadas.

El punto de muestreo resultó fundamental para visualizar la dinámica de las sales en el lomo.

2 INTRODUCCIÓN

A partir del año 1970 en Argentina se incorpora y promueve la producción bajo cobertura plástica, “invernaderos”, constituyéndose en una profunda transformación del sector hortícola. Estos esquemas productivos responden a exigencias productivas, económicas y sociales; incorporando un gran número de insumos, desarrollos tecnológicos, grupos sociales y económicos (Martínez Quintana *et al*. 1995; Carluccio *et al*. 2002). Hernández Diaz *et al*. (2006), indican que los cultivos protegidos son uno de los aportes más importantes en la revolución científico agrícola porque posibilitan la producción de alimentos con independencia climática, ampliando las épocas y zonas de producción.

La región del Gran La Plata es una de las zonas de mayor importancia a nivel nacional en la producción hortícola y florícola en invernadero. Según el Censo provincial hortiflorícola (CHFBSAS 2005) existían en la región 1.047 explotaciones hortícolas y florícolas en 2.879,9 ha; de las cuales 1.887,9 ha eran a campo y 992 ha bajo cubierta.

En un análisis más reciente empleando imágenes satelitales se determinó para el año 2011 una superficie bajo cubierta, de 2.251 ha (López Camelo 2011).

Los suelos del Gran La Plata donde se desarrolla esta actividad han sido clasificados taxonómicamente como Hapludert típico y Argiudol vértico. Estos grupos de suelo naturalmente presentan elevada fertilidad química, alto contenido de materia orgánica, están libres de sales y sodio. Su principal limitante es el drenaje, ya que poseen un elevado contenido de arcillas desde superficie (entre 27-40%) que se incrementa subsuperficialmente (50-60%), prevaleciendo la illita, y en segundo término la montmorillonita (Hurtado *et al*. 2006).

En los esquemas productivos de la región la salinización y alcalinización, asociadas al deterioro de la estructura, encharcamiento, desarrollo de enfermedades y desequilibrios nutricionales son las principales limitantes de origen edáfico sobre la producción hortícola bajo cubierta, con consecuencias ambientales, productivas y económicas (Gonzalez y Amma 1976; Ramos y Peinemann 1981; Alconada y Huergo 1998; Alconada *et al*. 2004a; 2004b).

Degradación de suelos

La calidad del suelo es clave en el sostenimiento global de la biosfera y en el desarrollo de prácticas agrícolas sustentables (Wang y Gong, 1998).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture, USDA 2013) define a la calidad como “la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar sosteniendo la productividad de plantas y animales, manteniendo o mejorando la calidad del agua y aire, colaborando con la salud humana y el hombre dentro de los límites de un ecosistema”. Por lo tanto, la calidad y la salud de este recurso determinan la sostenibilidad de la agricultura, la calidad ambiental y como consecuencia, la salud de plantas, animales y del propio hombre (Doran y Safley 1997).

Según Cerón y Melgarejo (2005), la calidad del suelo abarca tres componentes básicos: las características biológicas, físicas y químicas; mientras que la salud está determinada principalmente por sus características ecológicas. Esta definición, basada en la función, refleja la naturaleza dinámica de la vida y del suelo.

Para evaluar la calidad de suelo se utilizan diversos indicadores que ponen en evidencia si la actividad mantiene, degrada o mejora el recurso.

Estos indicadores pueden ser físicos (estabilidad estructural, distribución de poros, textura, velocidad de infiltración, densidad aparente y capacidad de campo entre otros), químicos (pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), salinidad (evaluada mediante la conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitrógeno

mineralizado, estado de óxido-reducción) o biológicos (carbono microbiano, nitrógeno microbiano, respiración, actividades enzimáticas, organismos indicadores, diversidad de especies) (Cerón y Melgarejo, 2005).

En el Cinturón Hortícola Platense los suelos se encuentran expuestos a constantes procesos degradativos. En el censo hortícola 2010, se reporta que las principales limitantes son elevado pH, elevada salinidad y elevada sodicidad. Las principales causas de la degradación son: laboreo intensivo del suelo, riego con aguas bicarbonatadas sódicas, empleo de enmiendas orgánicas salinas – sódicas (gallinaza, cama de pollo), sobrefertilización y biocidas, entre otras. Esta degradación trae como consecuencia incremento de pH, salinidad y sodicidad. Estos procesos se ven agravados en los suelos bajo cubierta por el impedimento al ingreso de agua de lluvia y los elevados contenidos de arcillas expansivas.

Antiguamente era habitual la práctica llamada “descanso de los suelos”, que consistía en retirar los techos de los invernaderos, entonces de vidrio y dejar “lavar” los suelos por acción de la lluvia durante meses o incluso años. En la actualidad esta práctica está en desuso.

Como consecuencia del manejo actual del cultivo bajo cubierta se incrementa el contenido de sales y sodio en el suelo. La salinización y la sodificación de tierras bajo riego destinadas a cultivos intensivos de alto valor preocupan, principalmente, debido al acelerado y generalizado incremento de la superficie afectada (Vázquez, 2013).

La degradación del recurso edáfico debido a la incorporación de sales y sodio, tiene efectos negativos en los rendimientos de los cultivos. Pla Sentis (1979), emplea el término “suelos afectados por sales” en sentido general, se refiere a aquellos suelos en que la acumulación de cualquier sal, ion por separado o en conjunto afecte directa o indirectamente las propiedades de los suelos (físicas, químicas, o biológicas), la

producción económica de cultivos o que incida sobre los consumidores (animales u hombre), o sobre el manejo eficiente del riego.

Los principales tipos de suelos que se generan a partir de la problemática de sodicidad y/o salinidad son: suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos **(**Richards, *et al*. 1954). Se definen como suelos salinos aquellos en los que se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso (solubilidad del yeso di hidratado 2,04 g L^{-1}) suficiente como para interferir en el crecimiento de la mayor parte de los cultivos y otras plantas no especializadas. Las sales que predominan tienen sulfatos, cloruros de sodio, calcio y magnesio. Estas sales dada su alta solubilidad siguen los movimientos ascendentes, descendentes y laterales del agua.

La salinización trae como consecuencias la disminución de la disponibilidad de agua por reducir el potencial osmótico y la toxicidad desarrollada por algunas sales como cloruro de magnesio o carbonato de sodio. Los efectos de la salinidad sobre la relación del agua en la planta, el desbalance nutricional y la toxicidad de los iones, son responsables de la inhibición de su crecimiento y como consecuencia de la disminución de la productividad (McKenzie y Leshen, 1994). Las sales reducen el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis y la demanda de nitrógeno (Sprent y Zahran, 1988).

La salinidad edáfica se evalúa mediante la conductividad eléctrica (CE) cuantificada sobre el extracto de saturación del suelo obtenido a partir de una pasta saturada (Rhoades, 1996). Se considera 4 dS m^{-1} como valor de referencia y límite inferior a partir del cual, se considera a un suelo, salino.

Los suelos sódicos se caracterizan por tener suficiente concentración de sodio en solución y en forma intercambiable en los coloides edáficos como para afectar la estructura de la mayoría de los suelos y la producción de los cultivos. El valor límite inferior asumido para considerar sódico a un suelo es PSI ≥ 15 % o una RAS ≥ 13, (Richards *et al*. 1954)

El deterioro de la estructura trae aparejada la disminución de la porosidad, principalmente de los poros grandes de drenaje obstruyendo la evacuación de excesos hídricos, desarrollo de encostramientos y problemáticas de toxicidad (Vázquez, 2013).

Una de las metodologías para la evaluación de la sodicidad del suelo es la cuantificación relativa del sodio (Na^+) respecto de otros cationes. Cuando se cuantifica la concentración del Na^+ en la solución externa se denomina relación de adsorción de sodio (RAS) y es indicado en suelos donde existe salinidad. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) relaciona el Na adsorbido al complejo de intercambio y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y se definen con las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

RAS: relación de adsorción de sodio.

Na: concentración de Na^+ ($meqL^{-1}$).

Ca: concentración de Ca^{+2} ($meqL^{-1}$).

Mg: concentración de Mg^{+2} ($meqL^{-1}$).

$$PSI = 100 \times \frac{Na}{CIC}$$

Donde:

PSI: porcentaje de sodio intercambiable (%)

Na: concentración de Na^+ ($cmol_c\ kg^{-1}$)

CIC: capacidad de intercambio catiónico ($cmol_c\ kg^{-1}$)

Estas determinaciones, RAS y PSI, son las específicas para evaluar sodicidad.

El diagnóstico de la problemática sódica puede complementarse con la medición del pH. Valores superiores a 8,3 sugieren abundancia de Na^{+}. Sin embargo, existen suelos sódicos con valores de pH por debajo de aquellas cifras cuando entre los aniones predominan los sulfatos (SO_4^{-2}) y cloruros (Cl^{-}) en lugar de carbonatos (CO_3^{-2}) y bicarbonatos (CO_3H^{-}).

En cuanto a los suelos salino-sódicos son aquellos que contienen CE > 4 dS m^{-1} y PSI ≥ 15% o RAS ≥ 13, **(**Richards, *et al*. 1954), presentan en solución suficiente cantidad de sales, especialmente Na_2SO_4, como para afectar la absorción de las plantas y la producción económica de los cultivos, al ser lixiviada estas sales se produce un deterioro marcado de las características físicas del suelo que le dan características de suelos sódicos. Por lo tanto, desde el punto de vista del manejo, este suelo es potencialmente sódico.

Calidad de agua

La calidad del agua es un factor fundamental a tener en cuenta al evaluar la posibilidad de un sistema de riego.

En los invernáculos, el impedimento al pasaje de agua de lluvia es reemplazado por riego. El agua es extraída habitualmente por medio de bombas centrífugas de eje vertical instaladas en perforaciones realizadas para tal fin, a diferentes profundidades.

El empleo de fertirriego en producción bajo cubierta, el agregado de cama de pollo y las características edáficas del cinturón hortícola Platense, suelos Argiudoles y Argiudoles vérticos, con drenaje limitado favorece procesos de sodificación y salinización (Alconada, 1996; Alconada y Minghinelli, 1998)

La naturaleza del agua de los acuíferos está sometida a un deterioro de tipo cuantitativo, al producirse el agotamiento debido a la extracción para riego y consumo; y cualitativo especialmente por los niveles de NO_3^- presentes en el agua, a causa de las sobre fertilizaciones habituales en la producción intensiva local (Selis, 2000).

La calidad del agua, el inadecuado manejo del riego, que no contempla los requerimientos de lixiviación, la falta de agua de lluvia, la fertilización y el laboreo intensivo favorecen el desarrollo de procesos degradativos en los suelos como la salinización, sodificación, desbalance de nutrientes y pérdida de fertilidad física (Alconada, 1996).

Andreau, *et al*. 2012b, analizaron cinco perforaciones cercanas al sitio de estudio y permitió calificar a las aguas de riego como bicarbonatadas sódicas, con escasa salinidad y contenidos elevados de NO_3^- Este último aspecto deriva de las altas y frecuentes dosis de fertilizantes nitrogenados utilizados en la región, principal fuente de contaminación de los acuíferos (Auge *et al*., 2004). Desde el punto de vista de la salinidad y sodicidad, conforme a Ayers & Wescott (1987) estas aguas pueden calificarse como C1S2 y C2S2, es decir con ligera a moderada salinidad y sodicidad media en todos los casos. Sin embargo, si se utiliza el concepto de RAS corregido de acuerdo al tenor de CO_3H^-, Ca y CE de estos mismos autores (Tabla 2), la condición de sodicidad aumenta considerablemente debido a la posibilidad de precipitación de $CaCO_3$ en consecuencia menor actividad del Ca y por lo tanto, mayor RAS efectiva en el suelo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores para la misma región (Alconada, 1996; Alconada & Huergo, 1998; Alconada & Minghinelli, 1998).

Por todo lo expuesto sería importante cuantificar los efectos del drenaje en suelos hortícolas cultivados bajo cubierta.

Hipótesis

El uso de drenaje subterráneo mejora las propiedades físico-químicas de suelos platenses con cultivo bajo cubierta.

Objetivo general

Evaluar en un suelo bajo cubierta del Cinturón Hortícola Platense, la incidencia del drenaje y del riego subterráneo a diferentes profundidades en las propiedades físico-químicas a través del tiempo.

Objetivos específicos

Comparar los valores de sodicidad, salinidad y pH en un sistema de producción hortícola bajo fertirriego a dos profundidades, con y sin drenaje en tres sitios de muestreo en dos años sucesivos.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo de campo

El ensayo se condujo en un invernadero de estructura de madera y cubierta plástica de tipo doble capilla, sobre un suelo Argiudol vértico perteneciente a la serie Centeno situado en la Estación Experimental J. Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, ubicada en Los Hornos, dentro del cinturón horti-florícola del Partido de La Plata.

Previo a la preparación del suelo, se instalaron tres tubos de drenaje de PVC ranurado Amanco®, de 100 mm de diámetro y 35 m de longitud, a 0,5 m de profundidad, centrados sobre el lugar donde posteriormente se levantaron los lomos. Luego se abonó con cama de pollo (78,9 $m^3 ha^{-1}$) y se construyeron lomos de 0,8 m de base, 0,4 m de altura y 40 m de longitud separados por caminos de 0,5 m. Los lomos

del extremo oficiaron de bordura y de los seis restantes, tres contaron con drenaje artificial (CD) y tres sin drenaje (SD).

En cada camellón se instaló una cinta de goteo E AXxxAqua-TraXX® de 200 µm de espesor de pared y 16 mm de diámetro, con orificios emisores espaciados 0,10 m, con una descarga unitaria media de 0,00054 m^3h^{-1} a una presión operativa entre 0,53 y 0,68 atm totalizando un caudal erogado de 0,0054 $m^3h^{-1}m^{-1}$. El agua de riego de fuente subterránea, se pasó por filtro de anillas de 130 mesh y se reguló la presión con una válvula hidráulica tipo Dorot. Las cintas de goteo se dispusieron en los camellones de tres formas: sobre la superficie (R0) a 0,10 m (R10) y a 0,20 m (R20) de profundidad. Para los análisis de este trabajo se consideraron los datos de R0 y R20.

El muestreo se realizó en dos años consecutivos siendo temporada uno (T1) y temporada dos (T2) otro factor en el análisis.

De esta manera quedó determinado un tratamiento por lomo, los tratamientos se resumen en la Tabla 1 y la Ilustración 1 en el anexo.

El tratamiento SDR0 fue considerado *testigo,* ya que es la situación de riego que prevalece en la zona de estudio.

Las láminas de riego se aplicaron en tiempos variables y fueron definidas en base a la estimación diaria de la evapotranspiración de referencia con datos agro meteorológicos obtenidos en la Estación Meteorológica Davis Modelo Grow Wheather existente en el predio.

Muestreo de suelo

El muestreo se realizó para cada temporada en tres puntos diferentes del lomo: en la superficie (A), al costado del mismo (B) y a 0,20 m de profundidad debajo de la línea de riego (C), con tres repeticiones cada uno a lo largo del lomo. (Figura 2-anexo).

Acondicionamiento de las muestras de suelo

Las muestras fueron secadas en estufa de aire forzado a 40°C luego desagregadas y tamizadas (2 mm). Todas las determinaciones de suelo se realizaron siguiendo la metodología normalizada descrita en SAMLA, SAGPyA, 2004.

Suelo

El pH real se determinó de forma potenciométrica, con una relación suelo: agua de 1:2,5.

Las determinaciones siguientes se realizaron sobre extracto de saturación. Para obtenerlo, se preparó una pasta saturada de suelo, utilizando 250 g de muestra y agua destilada hasta alcanzar una pasta saturada. Se dejó reposar 24 h. Se obtuvo el extracto mediante filtración con vacío.

Conductividad eléctrica: se determinó por conductimetría sobre el extracto de saturación.

Calcio y magnesio: se cuantificó por complejometría con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA).

Sodio: se cuantificó mediante fotometría de llama.

Análisis estadístico

A los resultados experimentales se les aplicó el modelo de análisis de la varianza con modelo factorial y cuando se detectaron diferencias significativas las medias se separaron mediante un test de Tuckey (:0,05).

Los análisis de regresión se realizaron por el método de mínimos cuadrados.

Los análisis se realizaron empleando el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

4 RESULTADOS

Los datos experimentales se analizaron por sitio de muestreo. Los factores fueron drenaje, profundidad de riego y temporada.

Las variables respuesta evaluadas: pH, salinidad y sodicidad.

Suelo

Los datos experimentales se analizaron por sitio de muestreo. Los factores fueron drenaje, profundidad de riego y temporada.

Las variables respuesta evaluadas: pH, salinidad y sodicidad.

4.1.1 -Muestreo en superficie*: (A)*

*pH Superficial: el pH presentó interacción entre los tres factores analizados ($p<0,01$). El tratamiento que presentó menor valor fue R20-SD-T2 y el que mayor valor presentó fue R0-SD-T1. Los tratamientos con R0-CD-T1 y R0-CD-T2 mostraron diferencias con el tratamiento que presentó menor valor. Los tratamientos de R20 y R0-SD-T2 mostraron diferencias con el tratamiento de mayor valor. Ver en anexo Figura 3 y test de Tukey Tabla 3.

*Salinidad superficial: la CE presentó diferencias significativas para los factores ($p<0,01$). Los factores R0, CD, T1 presentaron los menores valores y R20, SD y T2 los mayores. Ver en anexo Figura 4 y test de Tukey en Tabla 4, 5 y 6.

*Sodicidad superficial: la RAS presentó diferencias significativas para los factores ($p<0,05$). Los factores R0, CD, T2 presentaron los menores valores y R20, SD y T1 los mayores. Ver en anexo Figura 5 y test de Tukey en Tabla 7, 8 y 9.

*Valor absoluto de Na soluble superficial: el Na mostró diferencias significativas para los tres factores analizados ($p<0,05$). Los factores R0, CD, T2 presentaron los menores valores y R20, SD y T1 los mayores. Ver en anexo Figura 6 y test de Tukey en Tabla 10, 11 y 12.

*Ca y Mg superficial: el Ca y Mg presentaron diferencias significativas para los tres factores analizados ($p<0,05$). Los factores R0, SD, T1 presentaron los menores valores y R20, SD y T2 los mayores. Ver en anexo Figura 7 y test de Tukey en Tabla 13, 14 y 15.

4.1.2 -Muestreo lateral: (B)

*pH lateral: el pH presentó interacción entre los tres factores analizados ($p<0,01$). El tratamiento que presentó menor valor fue R0-CD-T2 y el de mayor fue R0-CD-T1. Los tratamientos de R20, R0-SD-T2 y R0-SD-T1 mostraron diferencias con el tratamiento que presentó mayor valor. Los tratamientos de R20-SD-T1 y R0-SD-T1 mostraron diferencias con los tratamientos de mayor y menor valor. Ver en anexo Figura 8 y test de Tukey en Tabla 16.

*CE lateral: la CE presentó interacción entre los tres factores analizados ($p<0,01$). El tratamiento que presentó mayor valor fue R20-SD-T2 y el de menor valor fue R0-CD-T1. Los tratamientos de R0-T1, R0-CD-T2 y R20-T1 mostraron diferencias con el tratamiento que presentó mayor valor. Los tratamientos de R20, R0-T2 y R0-SD-T1 mostraron diferencias con el tratamiento de menor valor. También se encontró diferencias entre los tratamientos R20-T1 y R0-SD-T2. Ver en anexo Figura 9 y test de Tukey en Tabla 17.

*Sodicidad lateral: la RAS presentó interacción entre los tres factores analizados ($p<0,01$). El tratamiento que presentó mayor valor fue R20-SD-T1 y el de menor valor fue R0-CD-T2. Los tratamientos de R0-T2, R20-T2 y R20-CD-T1 mostraron diferencias con el tratamiento que presentó mayor valor. Los tratamientos de R0-T1 mostraron diferencias con el tratamiento de menor valor. También se encontró diferencias entre los tratamientos R0-CD-T1 y R0-SD-T2. Ver en anexo Figura 10 y test de Tukey en Tabla 18.

*Na lateral: el Na mostró diferencias significativas para los factores drenaje, profundidad de riego y temporada analizados ($p<0,06$). Los factores R0, CD y T1 presentaron los menores valores y R20, SD y T2 los mayores. Ver en anexo Figura 11 y test de Tukey Tabla 19, 20 y 21.

*Ca y Mg lateral: el Ca y Mg mostraron diferencias significativas para los tres factores analizados ($p<0,05$). Los factores R0, SD, T1 presentaron los menores valores y R20, SD y T2 los mayores. Ver en anexo Figura 12 y test de Tukey Tabla 22,23 y 24.

4.1.3 -Muestreo en profundidad: *(C)*

*pH Profundo: el pH mostró diferencias significativas sólo para el factor temporada, siendo la temporada 1 mayor que la 2. Ver en anexo Figura 13 y test de Tukey en Tabla 25.

*CE profundo: la CE mostró diferencias significativas sólo para el factor temporada, siendo la temporada 2 mayor que la 1. Ver en anexo Figura 14 y test de Tukey en Tabla 26.

*Sodicidad profundo: la RAS presentó interacción entre los tres factores analizados ($p<0,01$). Los factores R0-SD-T2 presentaron el menor valor y R0-SD-T1 los de mayor. Ver en anexo Figura 15 y test de Tukey en Tabla 27.

*Na profundo: presentó diferencias significativas para el factor drenaje ($p<0,1$), evidenciando aumento del Na en las situaciones SD. Ver en anexo Figura 16 y test de Tukey en Tabla 28.

*Ca y Mg Profundo: el Ca y Mg presentaron interacción entre los tres factores analizados ($p<0,01$). Los factores R0-SD-T1 fueron los de menor valor R20-CD-T2 los de mayor. Ver en anexo Figura 17 y test de Tukey en Tabla 29.

5 DISCUSIÓN

Efecto de los factores drenaje, profundidad de riego y temporada sobre las variables pH, CE, RAS, Na y Ca-Mg y su ubicación espacial en el lomo

El pH no mostró variaciones con respecto al factor drenaje, sólo evidenció una variación en el muestreo lateral durante la temporada uno con riego en superficie, arrojando valores de pH 8 (CD) y pH 6,5 (SD).

En cuanto a salinidad y sodicidad (RAS) se observó el efecto positivo del drenaje ya que, en el tratamiento con drenaje subterráneo, dichos valores se encuentran por debajo y en el límite de los valores establecidos como perjudiciales para los cultivos en general (CE: 4dS/m y RAS: 13), mientras que, en la situación sin drenaje, estos valores son mayores. Esto podría explicarse a través de la evacuación

del exceso hídrico y las sales disueltas en él, como ya demostró Pérez *et al*. (2011). Los iones (Na^{+}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Cl^{-}, SO_4^{-2}) que se encuentran en la zona de formación del bulbo húmedo, se movilizan junto con el agua hacia los laterales y a la parte inferior del lomo donde se encuentran localizados los tubos de drenaje, que son los encargados de colectar los excedentes, siendo algunos más susceptibles a ser arrastrados por el agua.

En cuanto a la profundidad de la cinta de riego, se observó que los menores valores de CE se encontraron cuando se muestreó en profundidad, independientemente si el riego era superficial o profundo.

Esto podría explicarse por dos motivos. Uno, debido al movimiento del agua dentro del bulbo húmedo formando tres zonas: saturada, de equilibrio y seca. La acumulación de sales se da en la zona seca, mientras que en las otras dos zonas es similar a la solución de riego (Medina San Juan 1980). El segundo, debido a las características físicas de este tipo de suelos, en donde el desplazamiento de agua es mayor hacia los laterales y no en forma vertical.

Andreau *et al*. 2012 a, demuestran que la mayor eficiencia en el uso del agua y la ubicación profunda del bulbo húmedo podrían incidir favorablemente en la reducción de la salinidad y sodicidad del suelo causada por el riego en superficie con aguas de mala calidad y debido a que al aplicar láminas menores el aporte salino disminuye. En este trabajo no se vio reflejado dicho efecto, posiblemente porque se aplicó la misma lámina de riego en todos los casos.

Con respecto a los iones Na^{+}, Ca^{+2} y Mg^{+2} se rigen por el movimiento del agua anteriormente explicado, acercándonos a las mejores situaciones con riego subsuperficial y muestreos en profundidad.

En cuanto a las temporadas de muestreo se observó que el pH y la RAS disminuyeron sus valores en el segundo año, sin importar donde se tomó la muestra

(Superficial, Lateral y Profundo), en cambio CE, Ca^{+2} y Mg^{+2} arrojaron valores mayores en la segunda temporada.

El Na^{+}, al ser uno de los iones más móviles, mostró en la segunda temporada un aumento en los laterales del lomo, no así en superficie y profundidad.

Análisis de regresiones de los datos experimentales

Se realizaron regresiones analizando los valores de pH y los componentes de la relación de adsorción de sodio por separado en función de la conductividad eléctrica como variable independiente

La relación del pH en función de la CE mostró una relación lineal y significativa (R^2= 0,67¸ p< 0,001), con pendiente negativa, el aumento de salinidad, reduce al pH en forma significativa. En el anexo pueden observase la Figura 18 y el test de Tukey en Tabla 30.

$$pH = 7,603-0,1036* CE$$

$$R^2=0.67.\ p<0,001$$

La relación de Na en función de la CE mostró una relación lineal y significativa (R^2= 0,64; p< 0,001), con pendiente positiva. El aumento de salinidad incrementa el contenido de sodio en forma significativa. En el anexo puede observarse la Figura 19 y el test de Tukey en la Tabla 31.

$$Na = 12,8173+6,1826* CE$$

R^2= 0,64. p<0,001

La relación de Ca y Mg en función de la CE mostro una relación lineal y significativa (R^2= 0,94; p< 0,001), con pendiente positiva. El aumento de salinidad incrementa el contenido de calcio y magnesio en forma significativa En el anexo puede observarse la Figura 20 y el test de Tukey en la Tabla 32.

Ca Mg = -13,039+8,7* CE

R^2= 0,94. p< 0,001

6 CONCLUSIONES

El drenaje permitió eliminar los excesos hídricos y con ellos los iones responsables de los deterioros físico-químicos del suelo, pero aun implementando esta práctica, a lo largo del tiempo, se vió un aumento de sales.

En cuanto a la profundidad de la cinta de riego, en el presente trabajo, no presentó ventajas en relación a la acumulación de sales, debido a que las láminas de riego aplicadas fueron las mismas para las dos profundidades analizadas, siendo esto algo a considerar ya que la lámina de agua debería ser menor en riegos subterráneos por estar entregándose en la zona de raíces y de esta manera tener mayor eficiencia en el uso.

El punto de muestreo (Superficie, Lateral y Profundidad) resultó fundamental para visualizar la dinámica de las sales en el lomo y evidenciar la mayor acumulación de las mismas en los laterales, lo cual provoca un impedimento químico para exploración de las raíces.

El incremento de sales con calcio y magnesio redujo la RAS, pero aumento el valor absoluto de sodio en el suelo

7 BIBLIOGRAFÍA

Alconada M. 1996. Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Actas XIII (en CD). Aguas de Lindoia, Sao Paulo, Brasil.

Alconada, M.; L. Giuffre; L. Huergo y C. Pascale. 2000. Hiperfertilizacion con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. Avances en Ingeniería Agrícola 1998-2000. Ed. Facultad de Agronomia, UBA. 343-347p.

Alconada, M. y Huergo, L.1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, N.O.A., Universidad Nacional de Tucumán

Alconada M. y Minghinelli F. 1998. Calidad del agua de riego según diferentes criterios: su influencia sobre la salinización – alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el Gran La Plata. XVI° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz, Córdoba, Argentina. 4 al 7 de mayo, pp. 229 – 230.

Alconada, M.; A. Mitidieri; S. Barragán; P. Poncetta; E. Inda y M. Cuellas. 2004a ;2004b. Tomate protegido: efecto de la nutrición nitrogenada sobre el suelo y el rendimiento. XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Cartagena de India, Colombia.

Andreau R., Etchevers P., Chale W. & Génova L. 2012 a. Riego por goteo superficial y subterráneo de tomate cultivado bajo cubierta: distribución de la humedad edáfica y rendimiento cuali-cuantitativo. Libro de Resúmenes de las VI Jornadas de Riego y Fertirriego. Fac. de Cs. Agrarias, UN de Cuyo, Chacras de Coria, Mendoza, Argentina. 7 al 9 de noviembre.

Andreau R.; P.R. Gelati, M. Provazza, D Bennardi; D Fernández y M Vazquez. 2012 b. Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense. Alternativas de tratamiento. Ci Suelo (Arg) 30(2):107-112.

Ayers R.S.; DW Wescott. 1986. La calidad del agua en la agricultura. FAO Riego y Drenaje 29. 174 p.

Carluccio, C.; M. Lenscak; M. Panelo; M. Colombo; S. Cáceres; N. Molina; E. Scagliay C. Pernuzzi. 2002. Desarrollo Actual de los Cultivos Protegidos en la República Argentina. En: Díaz Alvarez, R. y López Gálvez, J. ED. Situación de la Agroplasticultura en Países Iberoamericanos. Tercera Reunión de Coordinación de Caracas, Venezuela, Cyted, Almería, España. 30-71p.

Censo Provincial hortiflorícola de la provincia de Buenos Aires (CHFBSAS). 2005. Disponible en www.estadistica.laplata.gov.ar

Cerón L. y Melgarejo L. 2005. Enzimas del suelo: Indicadores de salud y calidad. Acta Biol. Col. 10(1), pp. 5 - 17.

Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada y CW Robledo, InfoStat versión 2018, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, URL http://www.infostat.com.ar

Doran J. W. ySafley M. 1997. Defining and Assessing Soil Health and Sustainable Productivity. En Pankhurst, C. Doube, B.M. Gupta V.V.S.R. (Eds.). Biological Indicators of Soil Health. Cab international, New York. pp. 1-22

González, J. y A. Amma.1976. Manejo de suelos para producción de hortalizas. E.E.A.INTA San Pedro.Tirada interna hortícola N*10 y 11.

Hernández Díaz, M.I.; M. Chailloux Laffita y A. Ojeda Veloz.2006. Cultivo protegido de las hortalizas: Medio ambiente y sociedad. Ciencia y Tecnología. Vol. 10. N° 30. 26- 31p.

Hurtado, M.; J. Giménez y M. Cabral.2006. Análisis Ambiental del partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento territorial. Ed. 1ra. Buenos Aires: Consejo Federal de

Inversiones. 134p.

Martínez Quintana, O.; C. Fernández Alsina; J. Lucero; L. Balcaza y R. Fernández. 1995. Proyecto Horticola-Prohortic. Actualización del Diagnóstico EEA INTA Gran Buenos Aires. Informe interno. 23 p.

McKenzie, B.D. & Y.A. Leshen.1994. Stress and stress coping in cultivated plants. KluwerAcademic Publisher, London, UK. p. 256

López Camelo, A. 2011. Relevamiento satelital de los invernaderos en el cinturón hortícolas de la plata. XXXIV Congreso Argentino de Horticultura. Buenos Aires,

Argentina.

Pla Sentís, I. 1979. Suelos salinos y elementos secundarios. Suelos Ecuatoriales. V: X (2): 26- 50p.

Ramos, N.E. y N. Peinemann. 1981. Nutrición mineral del tomate bajo riego. Rev. Inv. Agr. INTA. XVI (1): 33-42p.

Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis Part 3. Methods. pp. 417-435.

Richards, et al. 1954.Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual 60, USDA. Editorial Limusa.

SAMLA, 2004. “Sistema de Apoyo Metodológico para Suelos y aguas de Uso Agrícola” CD-room

Selis D. 2000. Análisis de las externalidades negativas del cambio tecnológico en la región del Gran La Plata, Buenos Aires, Argentina. X Congreso Mundial de Sociología Rural, Río de Janeiro, Brasil.

Sprent, J.I. & H.H. Zahran. 1988. Infection, development and functioning of nodules under drought and salinity. Nitrogen fixation by legumes in Mediterranean agriculture. In. D.P. Beck and L.A. Materon (Eds.) Holanda. Pp. 145-151.

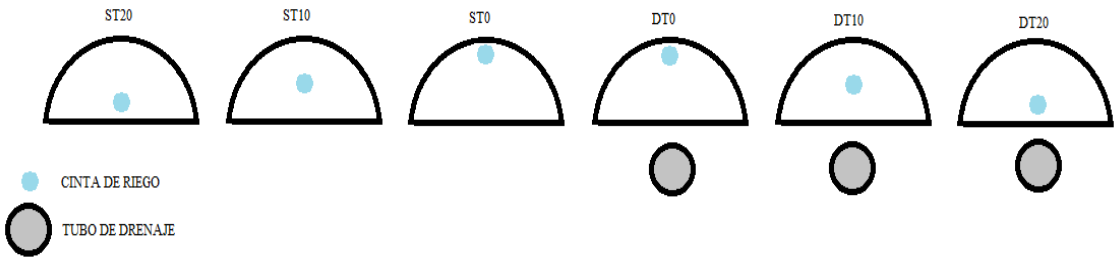
USDA. 2013. Natural resources conservation services en Soil Quality / Soil Health Concepts. Disponible en: http://soils.usda.gov/sqi/concepts/concepts.html.

Vázquez M. 2013. Apuntes de la cátedra Manejo de Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UN de La Plata.

Wang X. y Gong Z. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma 81, pp. 339-355.

8 ANEXO:

[redacted]Ilustraciones



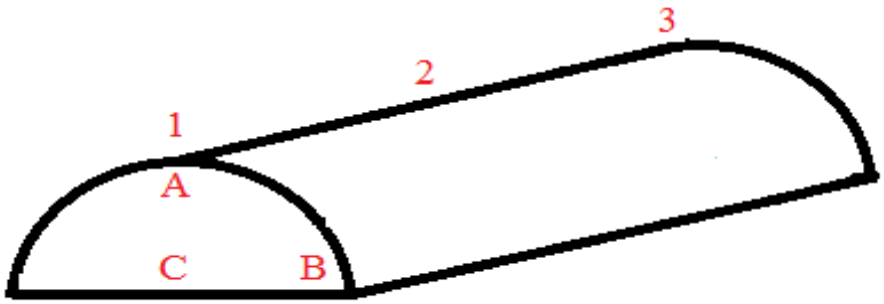


Ilustración 1. Esquema del ensayo, profundidad de la cinta de riego y la disposición de los tubos de drenaje. Sitios de muestreo superficie (A), lateral (B) y profundo (C), repeticiones 1, 2 y 3.

Tablas

Tabla 1. Tratamientos establecidos en el ensayo.

Tratamiento	Descripción
SDR0	Sin drenaje, profundidad de cinta de riego: 0 m.
SDR10	Sin drenaje, profundidad de cinta de riego: 0,10 m.
SDR20	Sin drenaje, profundidad de cinta de riego: 0,20 m.
CDR0	Con drenaje, profundidad de cinta de riego: 0 m.
CDR10	Con drenaje, profundidad de cinta de riego: 0,10 m.
CDR20	Con drenaje, profundidad de cinta de riego: 0,20 m.

Tabla 2. **Características químicas del agua de riego de cinco sitios de muestreo (Andreau 2013).** ***Referencia: (1) corrección de la RAS de acuerdo a Ayers y Wescot (1986) sobre la base del contenido relativo de CO_3H^-, Ca y CE***

Nº	pH	CE	RAS	RASc (1)	CO_3H^-	$CO_3^=$	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		dS m^{-1}							meq L^{-1}				
1	7,5	0,71	6,42	7,64	7,4	-	0,86	25,9	6	0,86	0,6	5,48	0,3
2	7,5	1,16	3,69	4,86	7,4	-	1,25	45,7	183	3,27	1,57	5,74	0,4
3	7,5	0,76	5,24	6,45	7,3	-	1,24	20,5	38	1,15	0,63	4,94	0,3
4	7,5	0,70	3,25	3,97	6,7	-	0,66	22,1	37	1,66	0,95	3,71	0,4
5	7,8	0,71	6,67	7,50	7,6	-	0,63	21,1	36	0,7	0,54	5,24	0,3

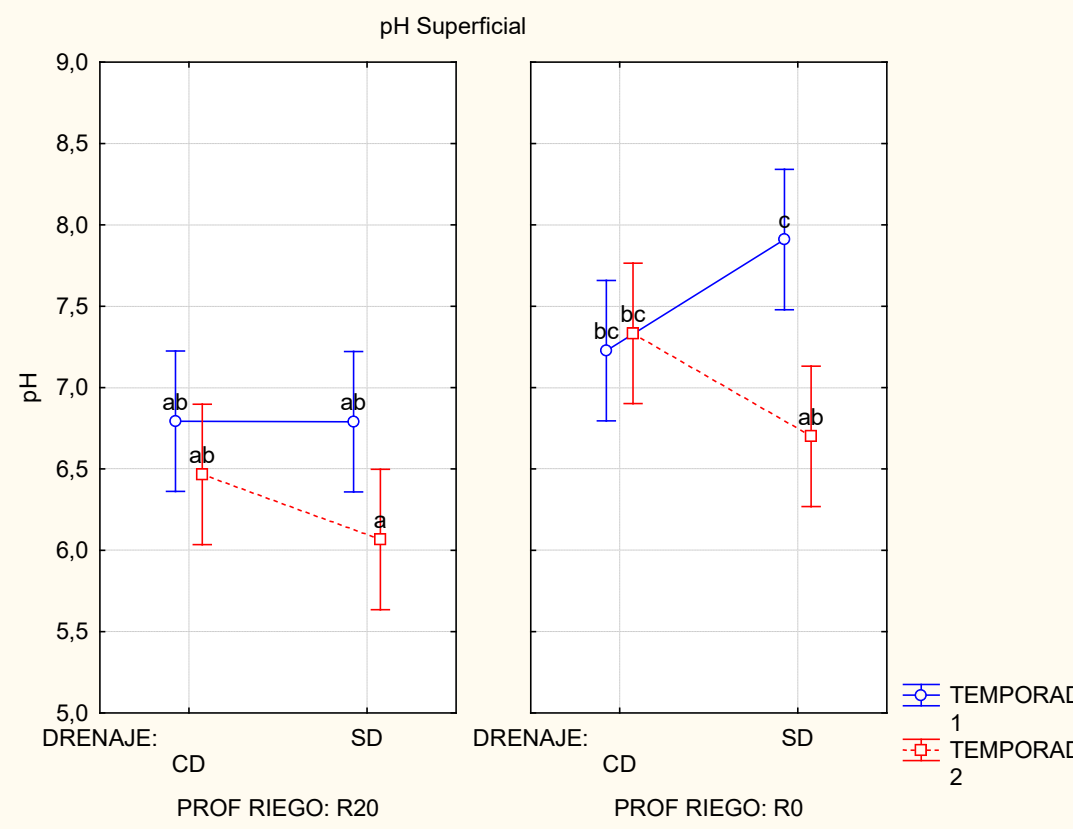


Figura 1. Valores de pH real (1:2,5 suelo/H_2O) según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores.

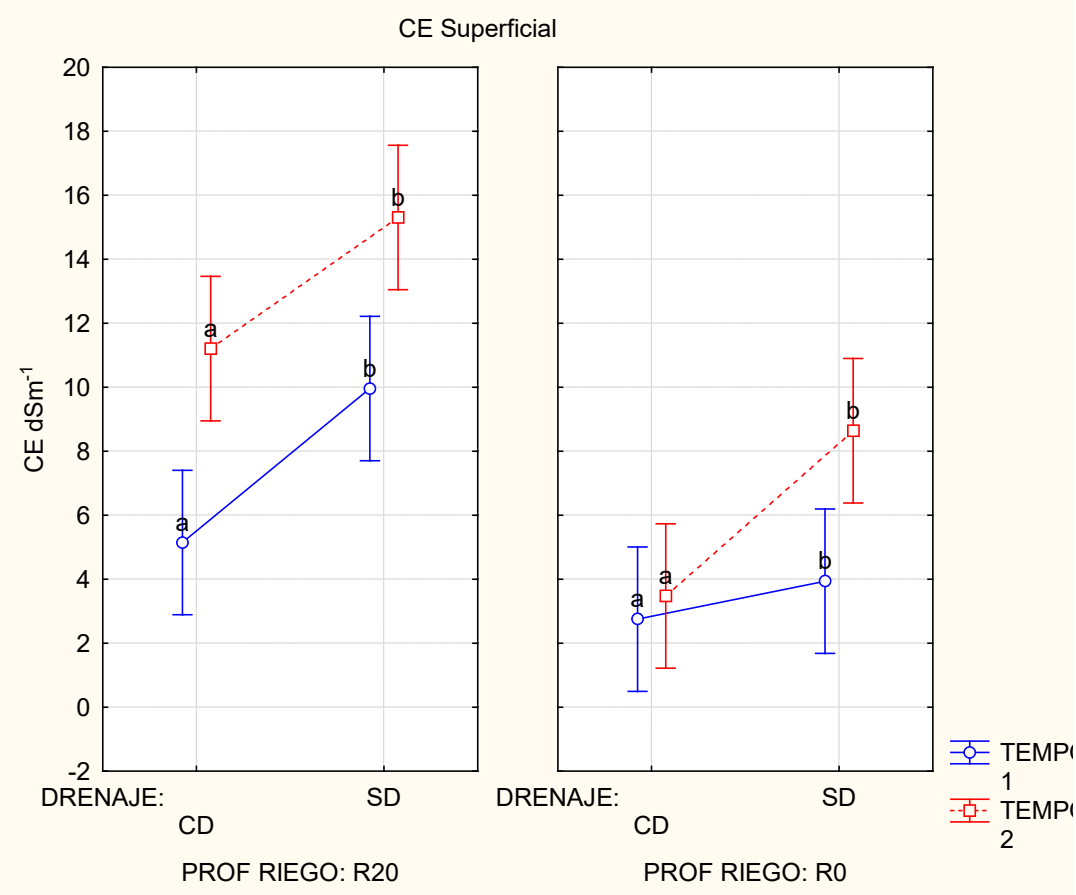


Figura 2. Valores de CE según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego.

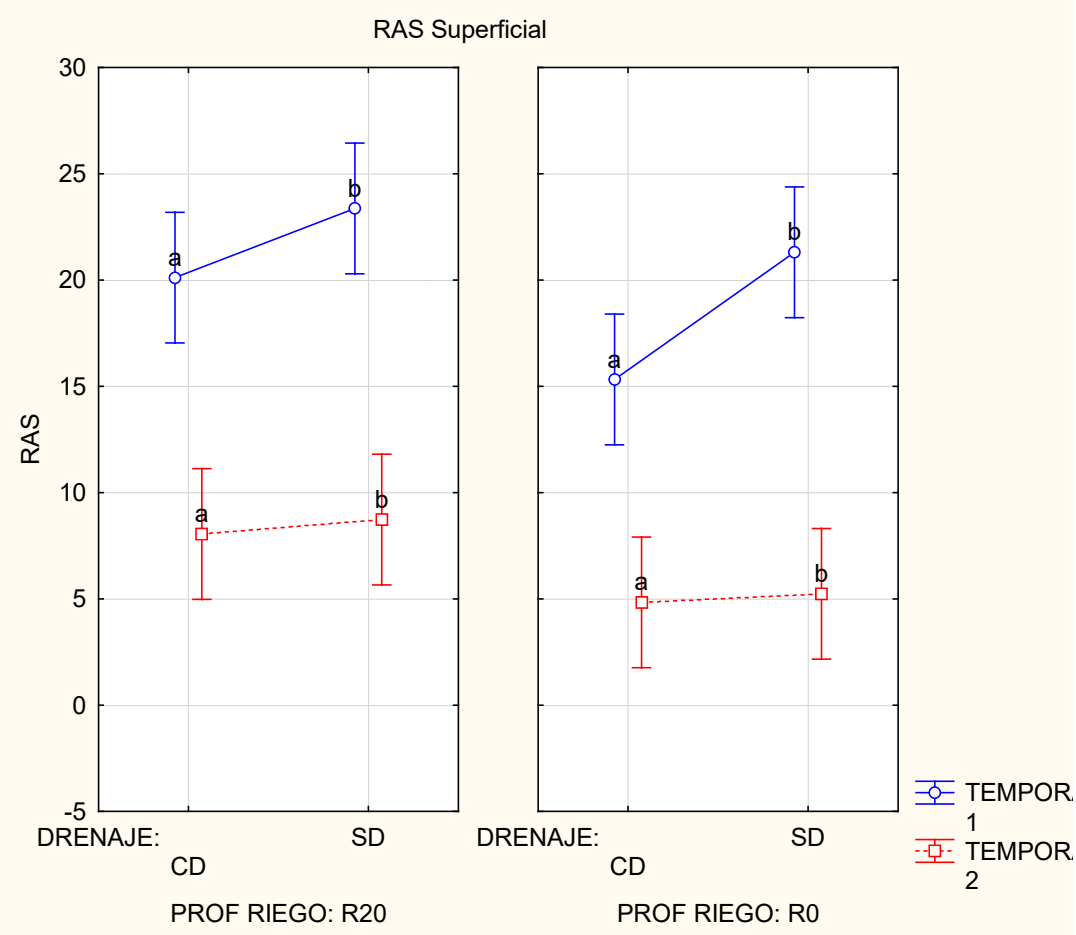


Figura 3. Valores de RAS según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego.

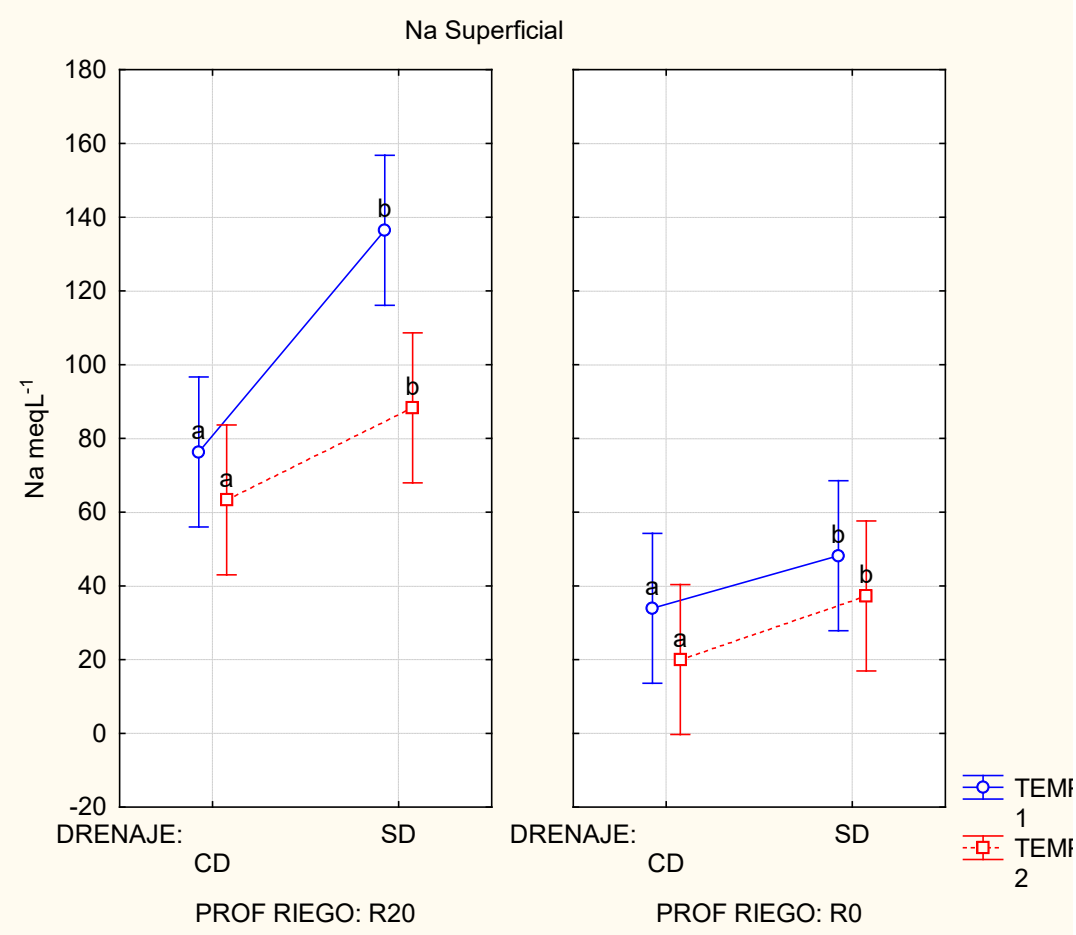


Figura 4. Valores de Na según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 20cm., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego.

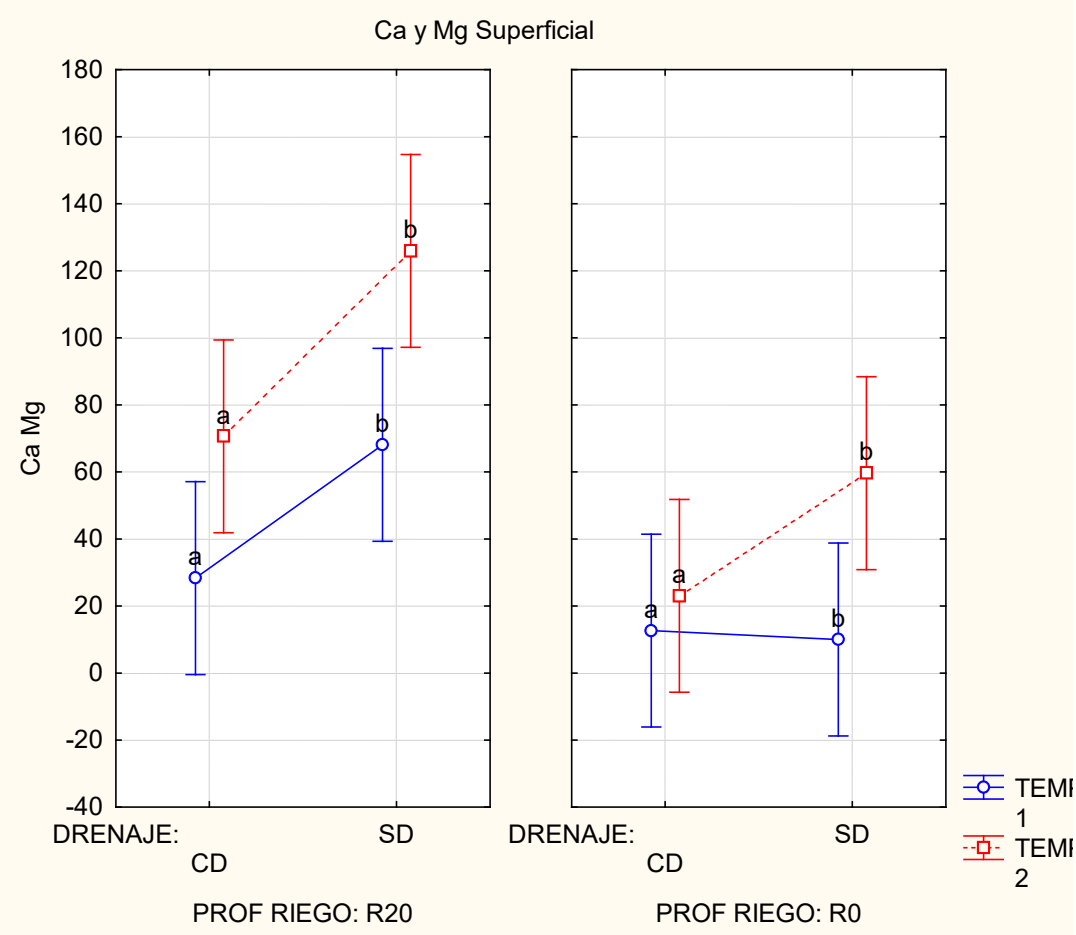


Figura 5. Valores de Ca y Mg según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego.

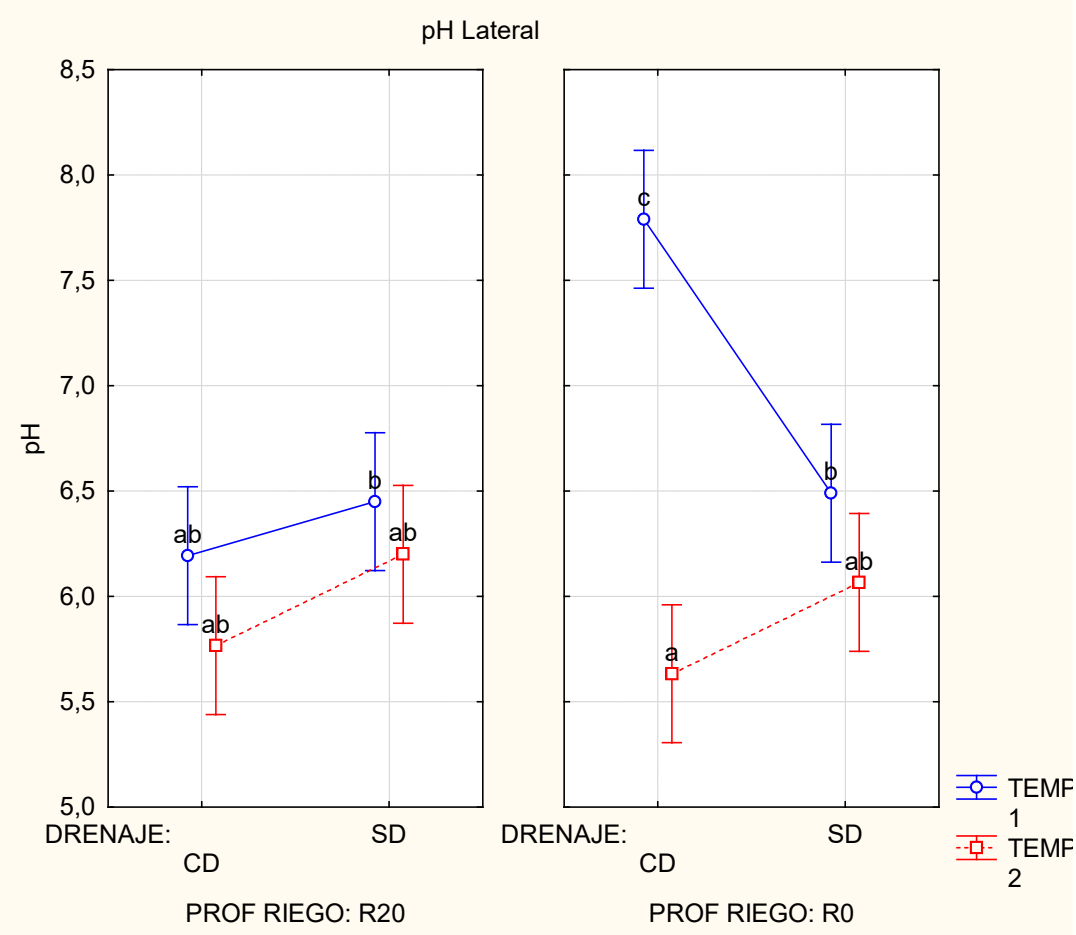


Figura 6. Valores de pH real (1:2,5 suelo/H_2O) según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores.

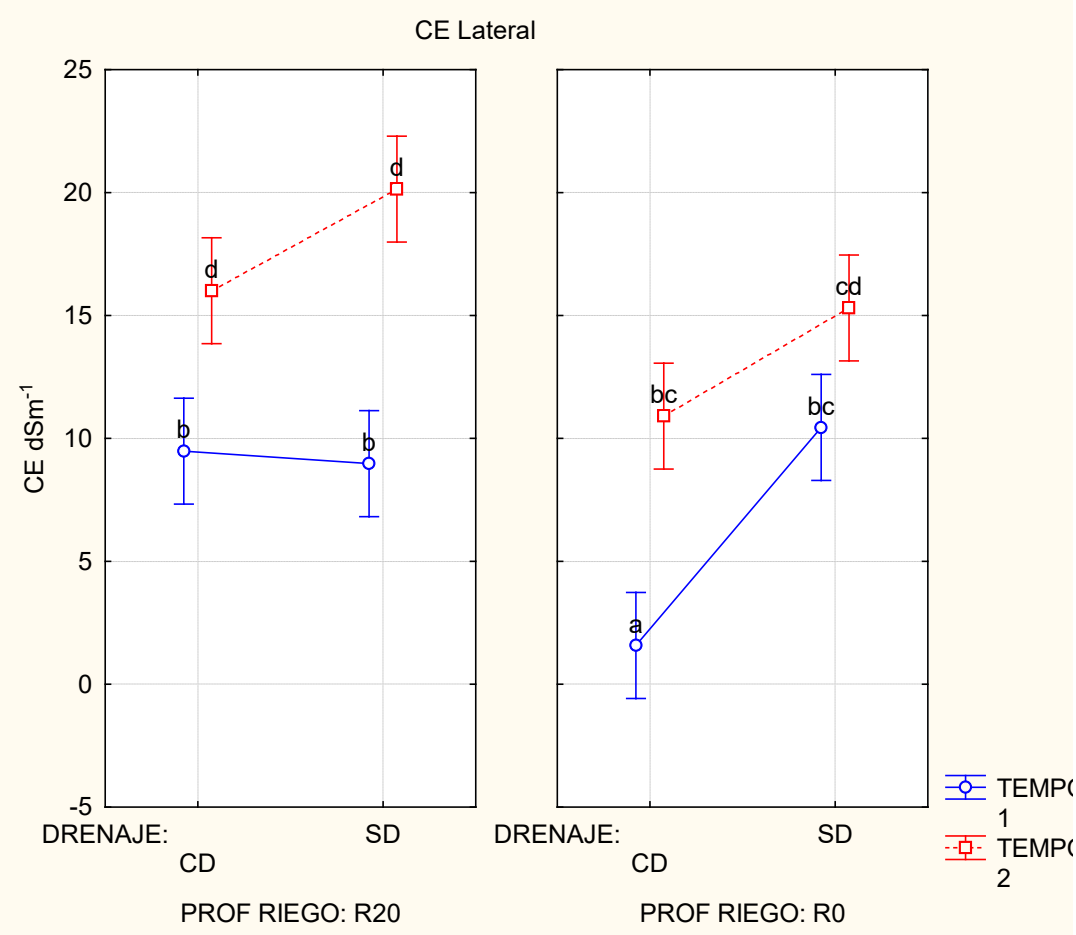


Figura 7. Valores de CE según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores.

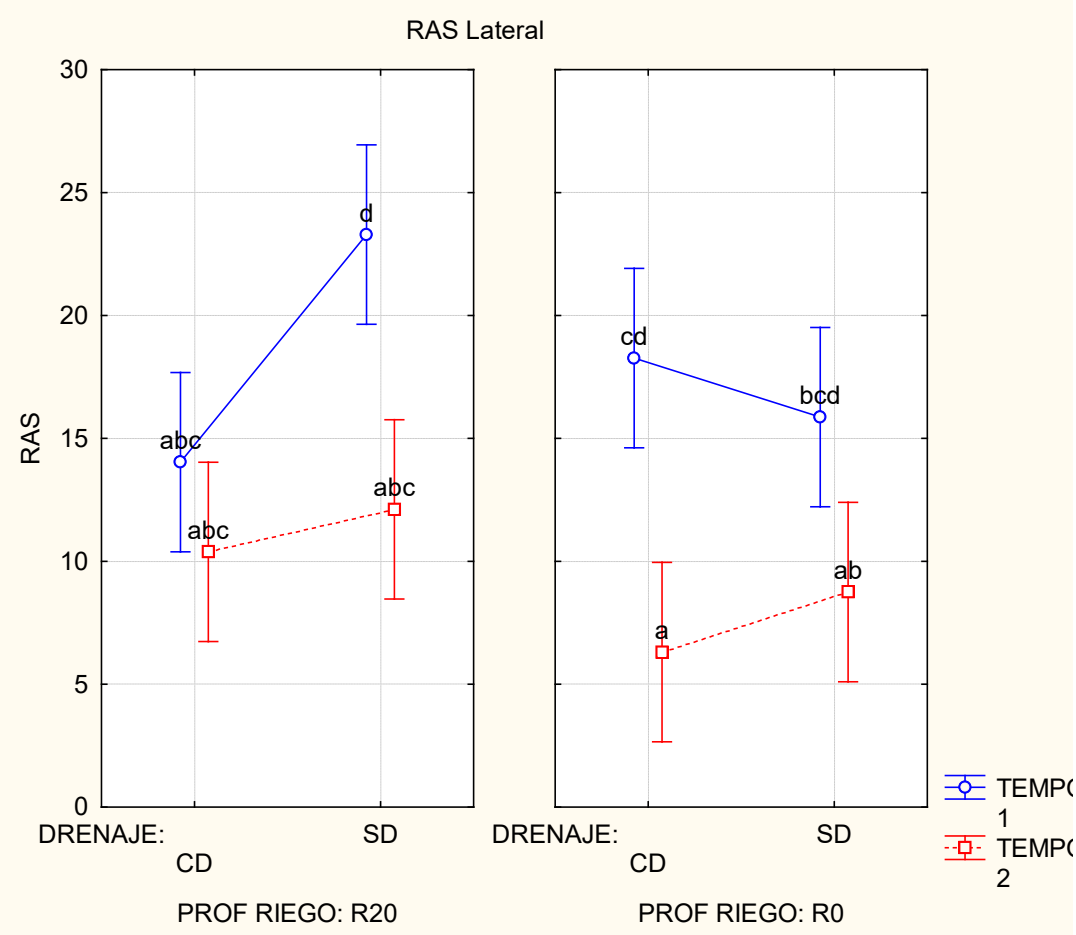


Figura 8. Valores de RAS según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores.

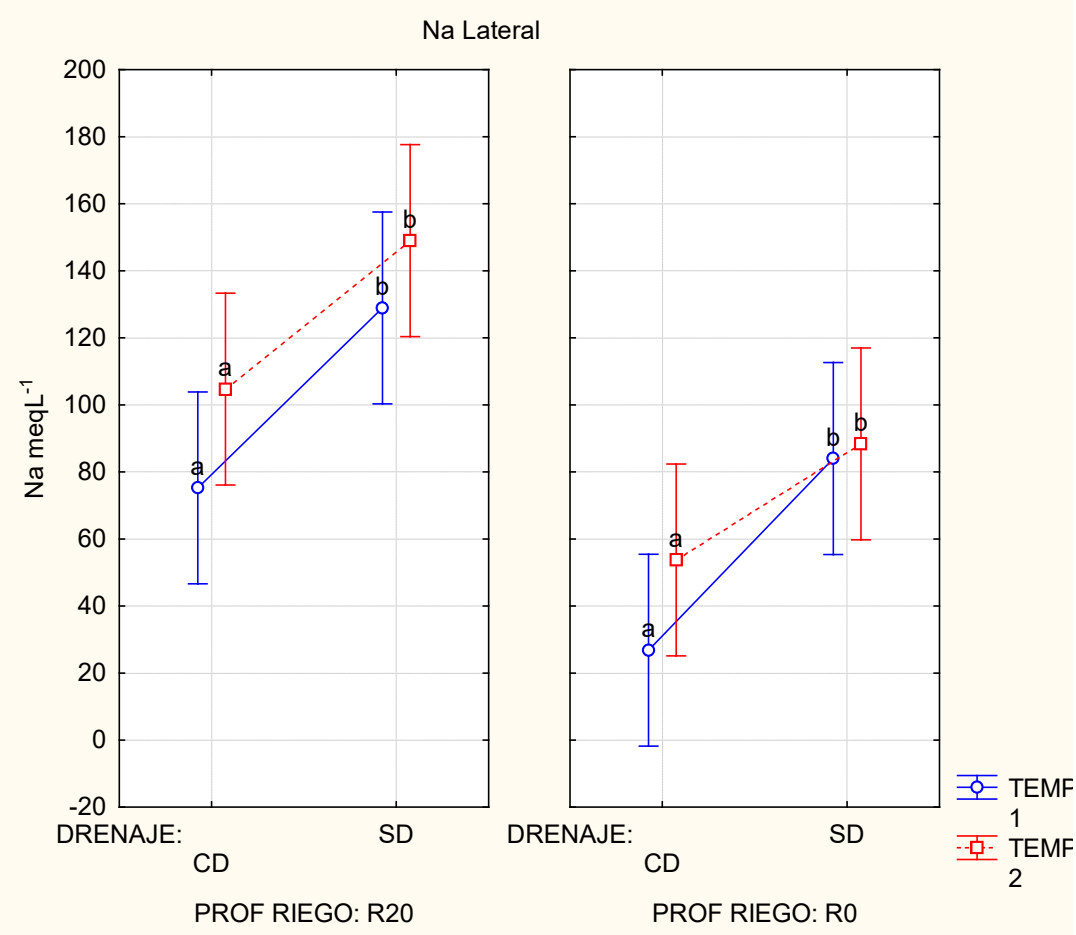


Figura 9. Valores de Na según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, rectas de color diferentes indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego.

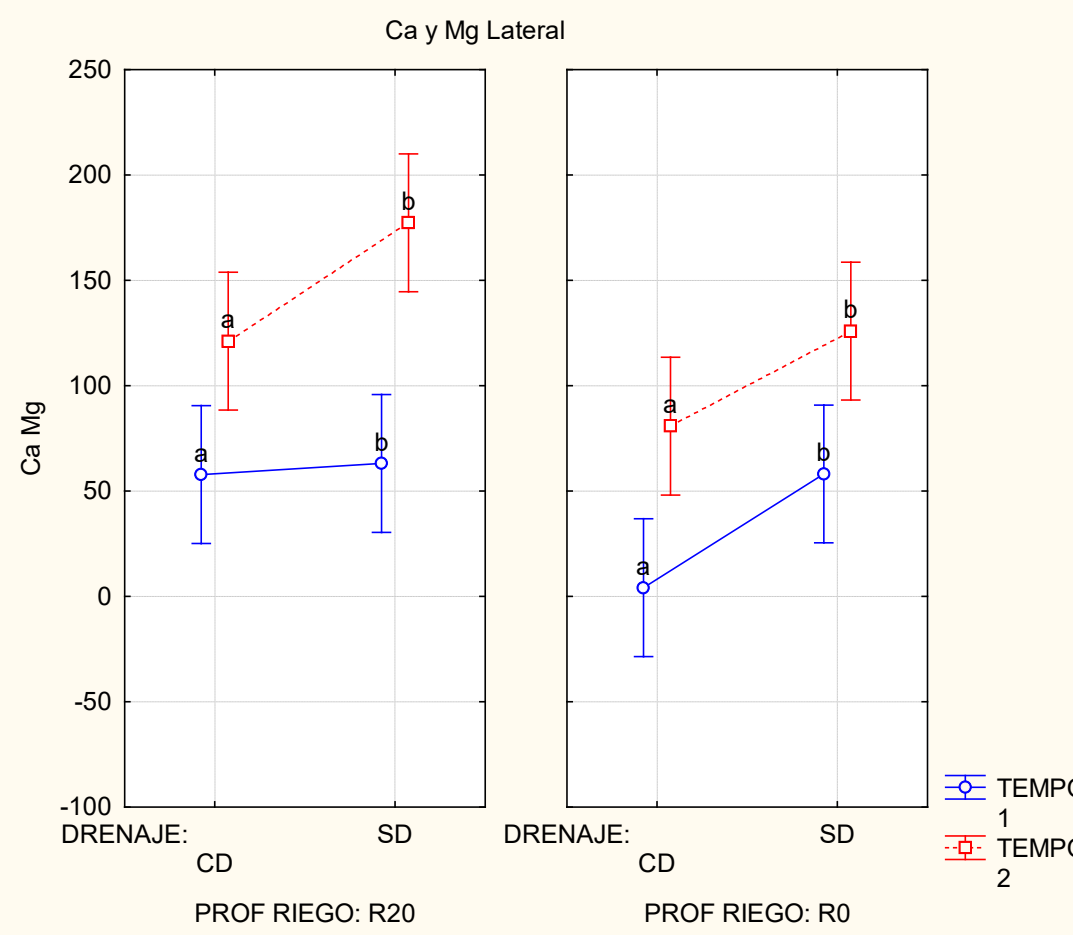


Figura 10. Valores de Ca y Mg según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje, recta de color diferente indican diferencias significativas entre temporadas y Figuras diferentes indican diferencias significativas entre profundidad de riego.

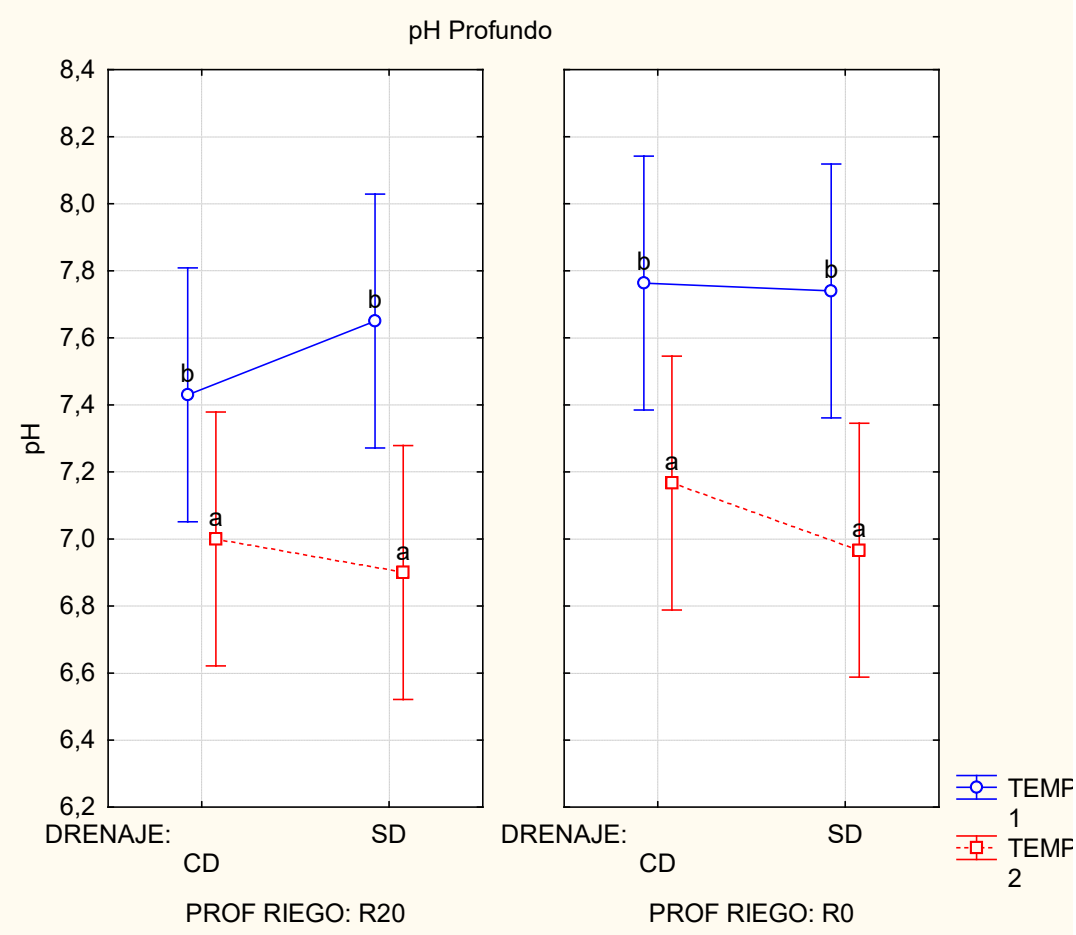


Figura 11. Valores de pH actual (1:2,5 suelo/H2O) según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo.

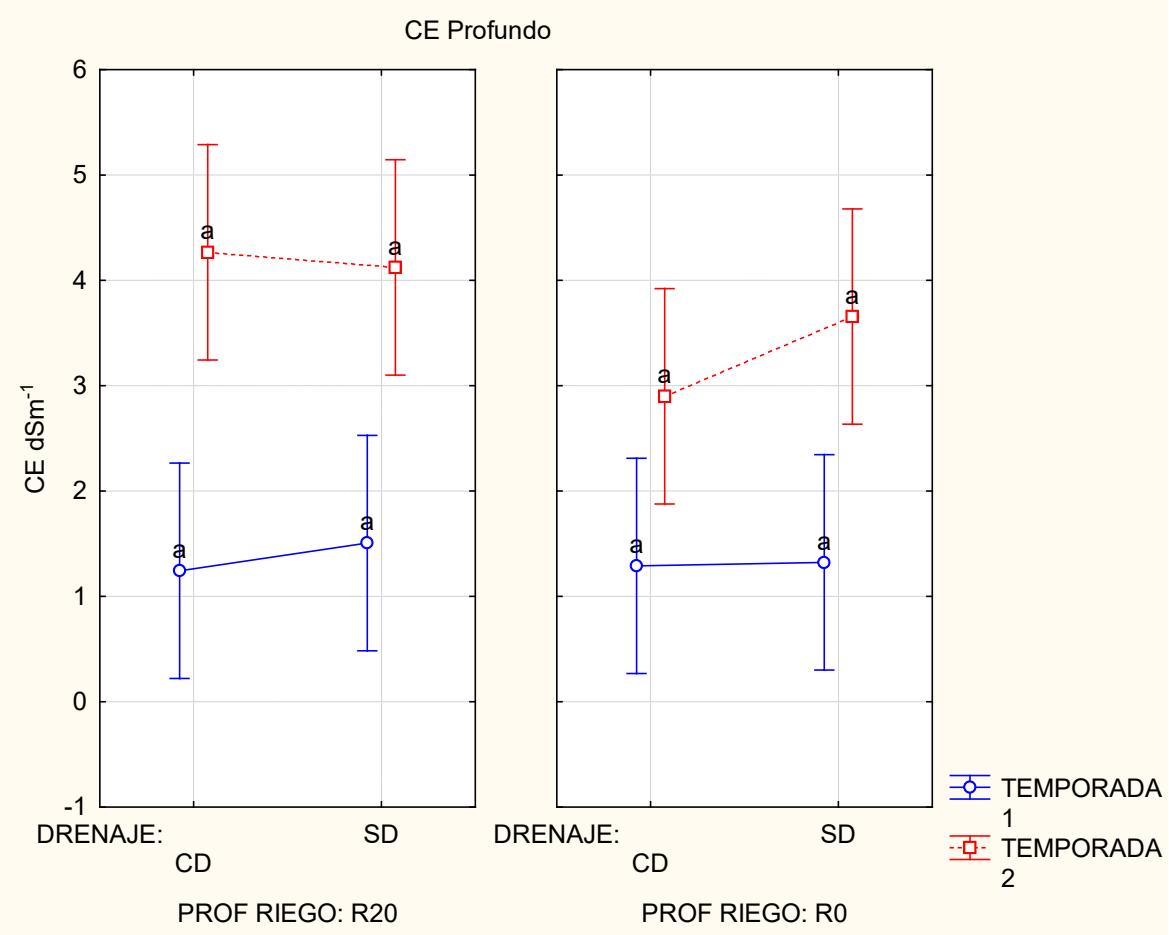


Figura 12. Valores de CE según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Rectas de diferente color indican diferencias significativas entre temporadas.

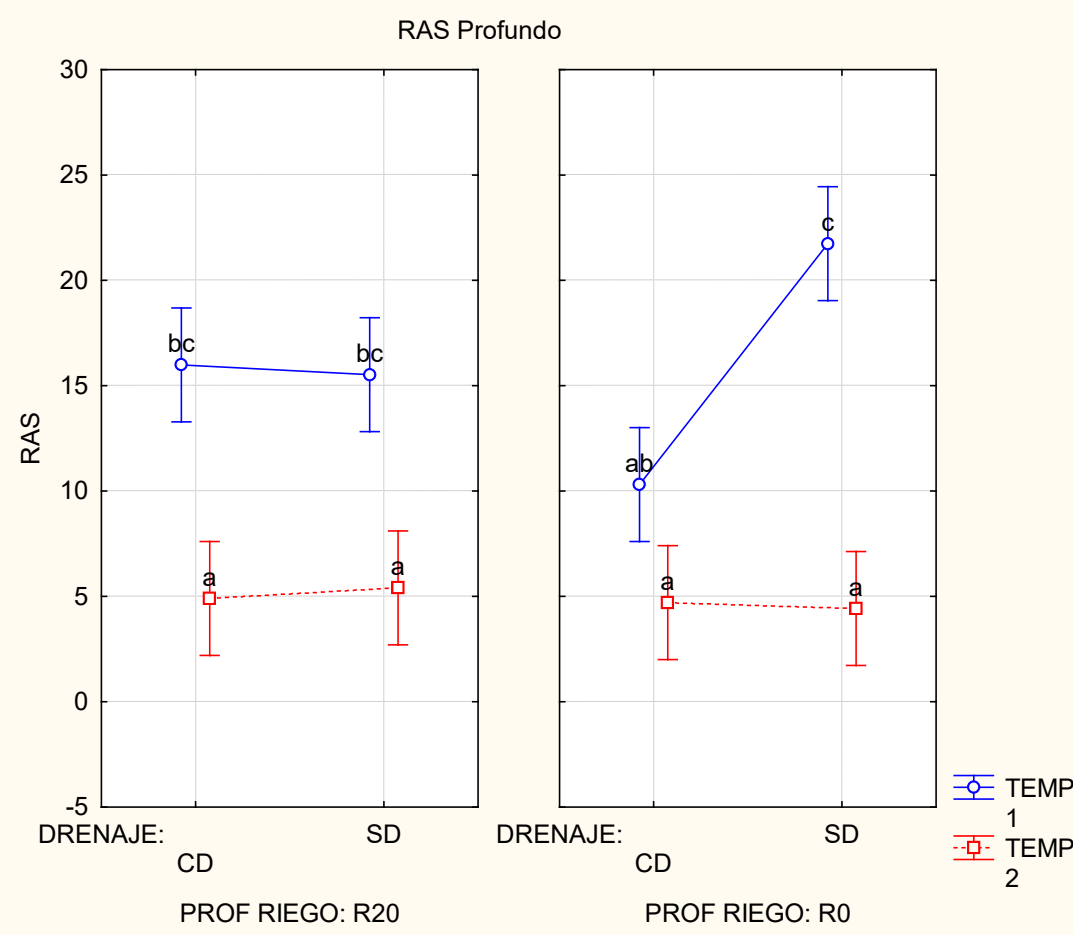


Figura 13. Valores de RAS según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores.

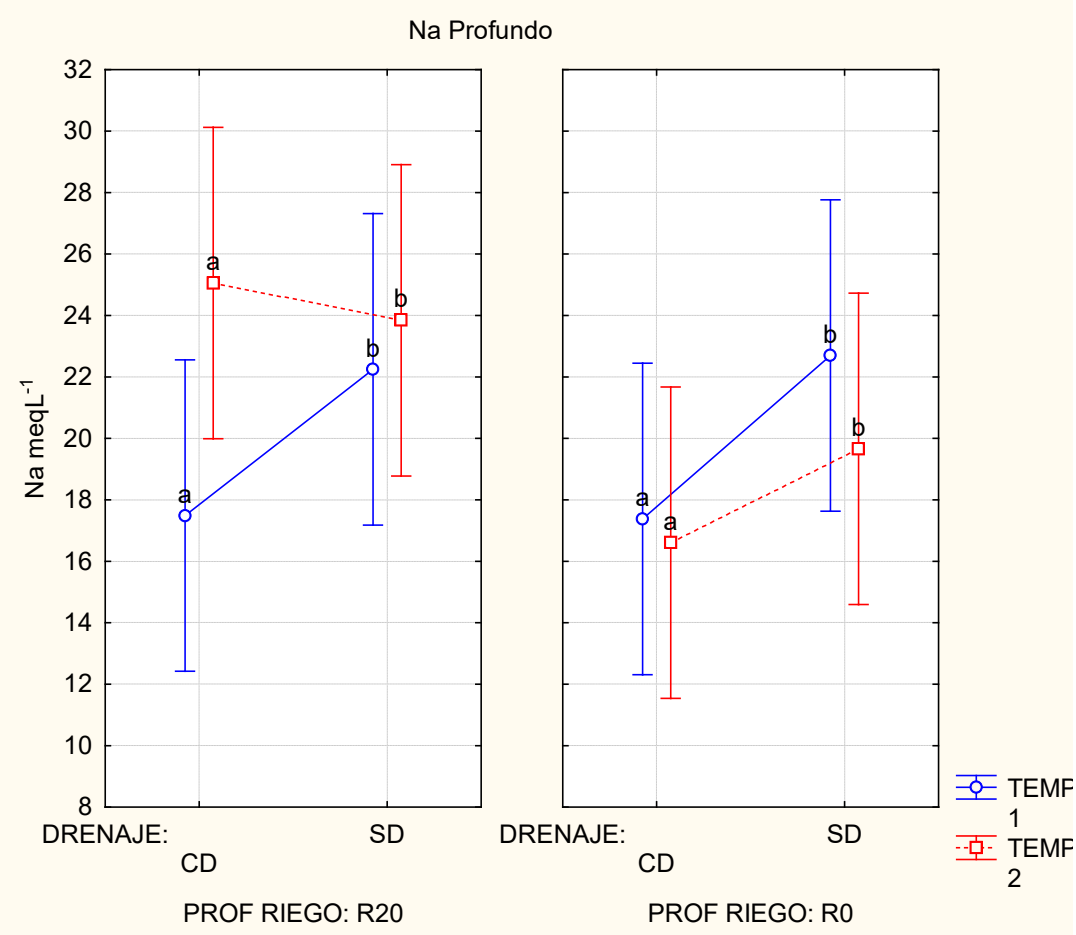


Figura 14. Valores de Na según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para drenaje.

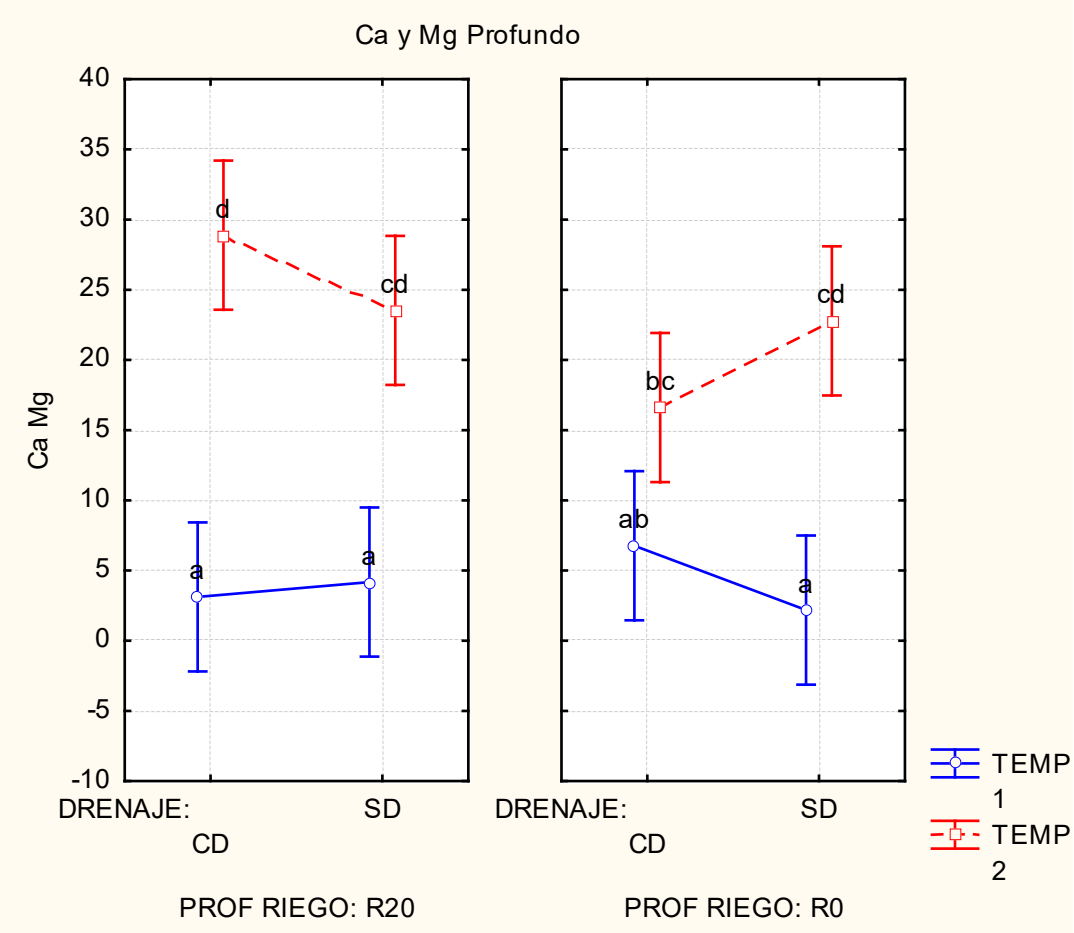


Figura 15. Valores de Ca y Mg según tratamiento aplicado: R0=riego superficial, R20= riego a 0,20m., CD= con drenaje, SD= sin drenaje, Temporada 1= primer año de muestreo y Temporada 2= segundo año de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción de los tres factores.

Ecuación ajuste de los valores de pH real (1:2,5) en función de los valores de conductividad eléctrica (CE)

$$pH = 7{,}603 - 0{,}1036^{*} CE$$

$$R^2 = 0.67.\ p < 0{,}001$$

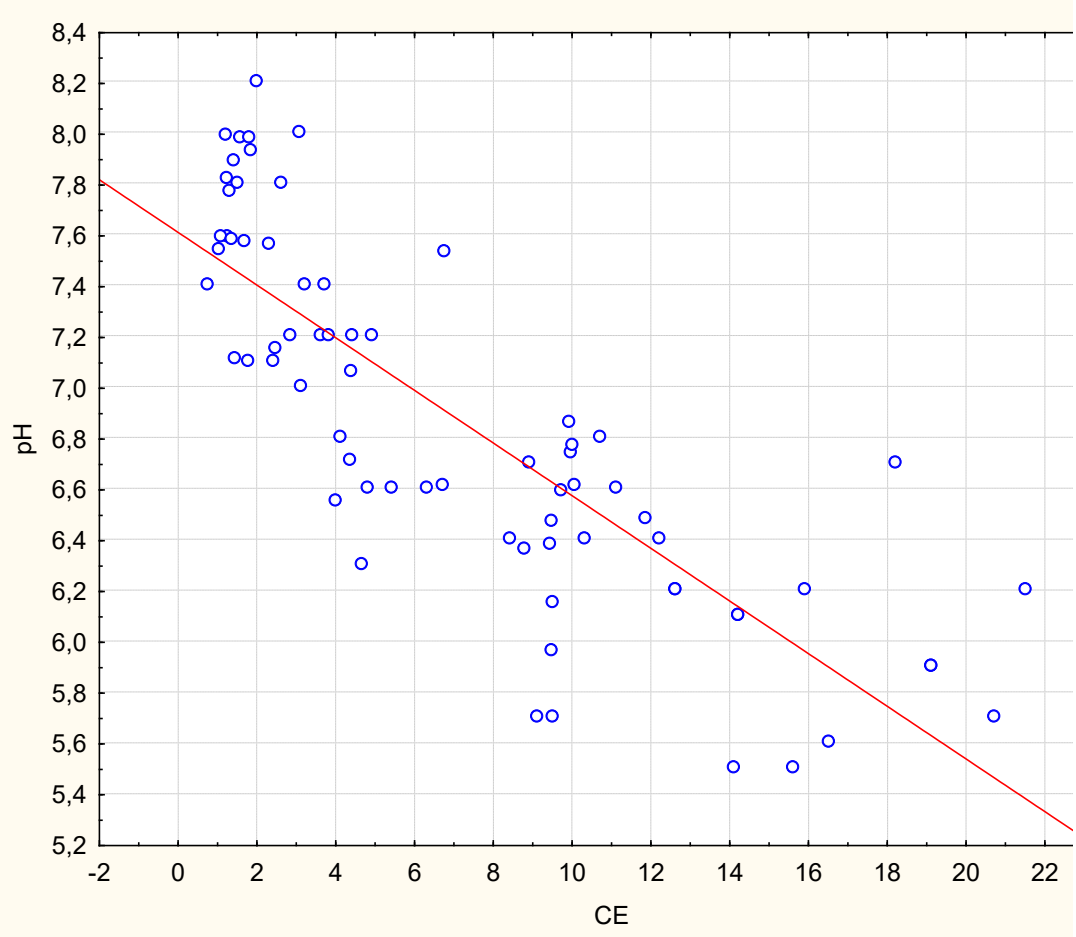


Figura 16. Regresión lineal entre los valores de pH real (1:2,5) en función de la conductividad eléctrica (CE).

Regresión lineal de los valores de sodio en el extracto de saturación en función de la conductividad eléctrica

Na = 12,8173+6,1826* CE

R^2= 0,64. p<0,001

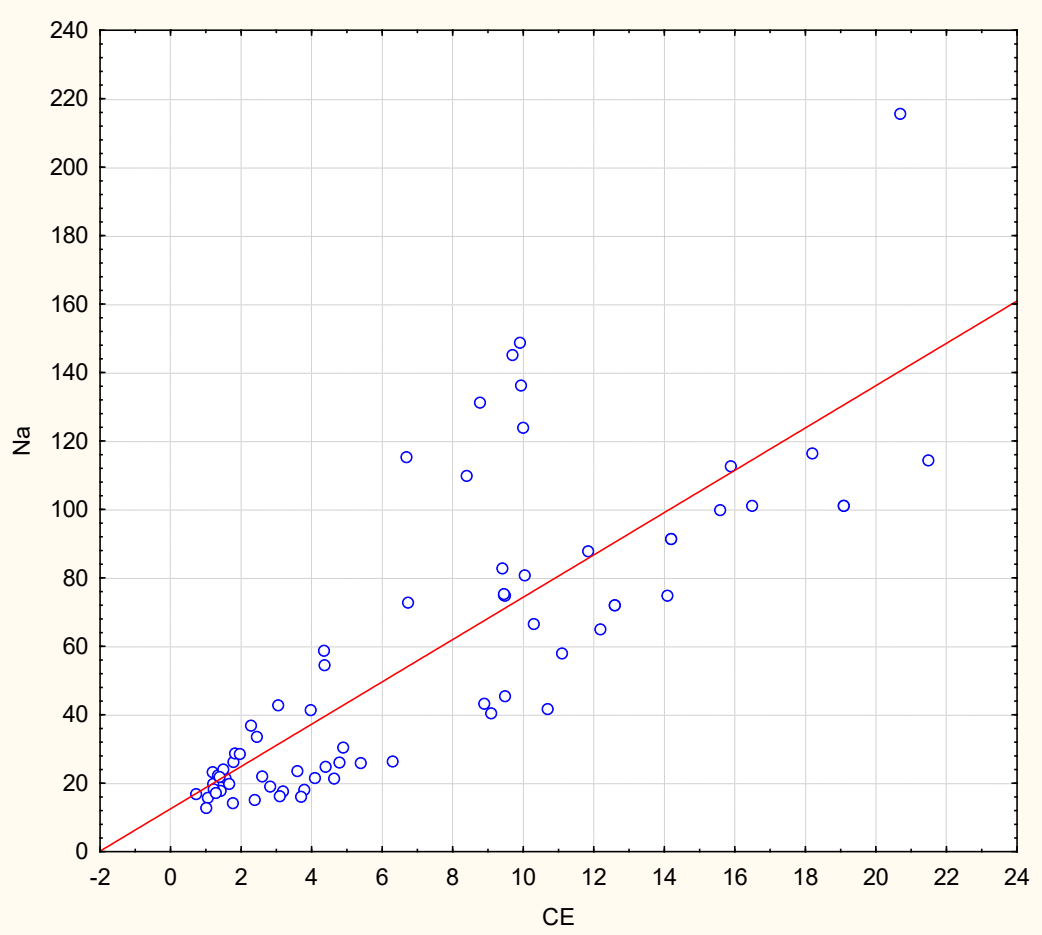


Figura 17. Regresión lineal entre los valores de sodio en el extracto de saturación en función de la conductividad eléctrica (CE).

Regresión lineal entre los valores de calcio y magnesio en el extracto de saturación en función de la conductividad eléctrica

Ca Mg = -13,039+8,7* CE

R^2= 0,94. p< 0,001

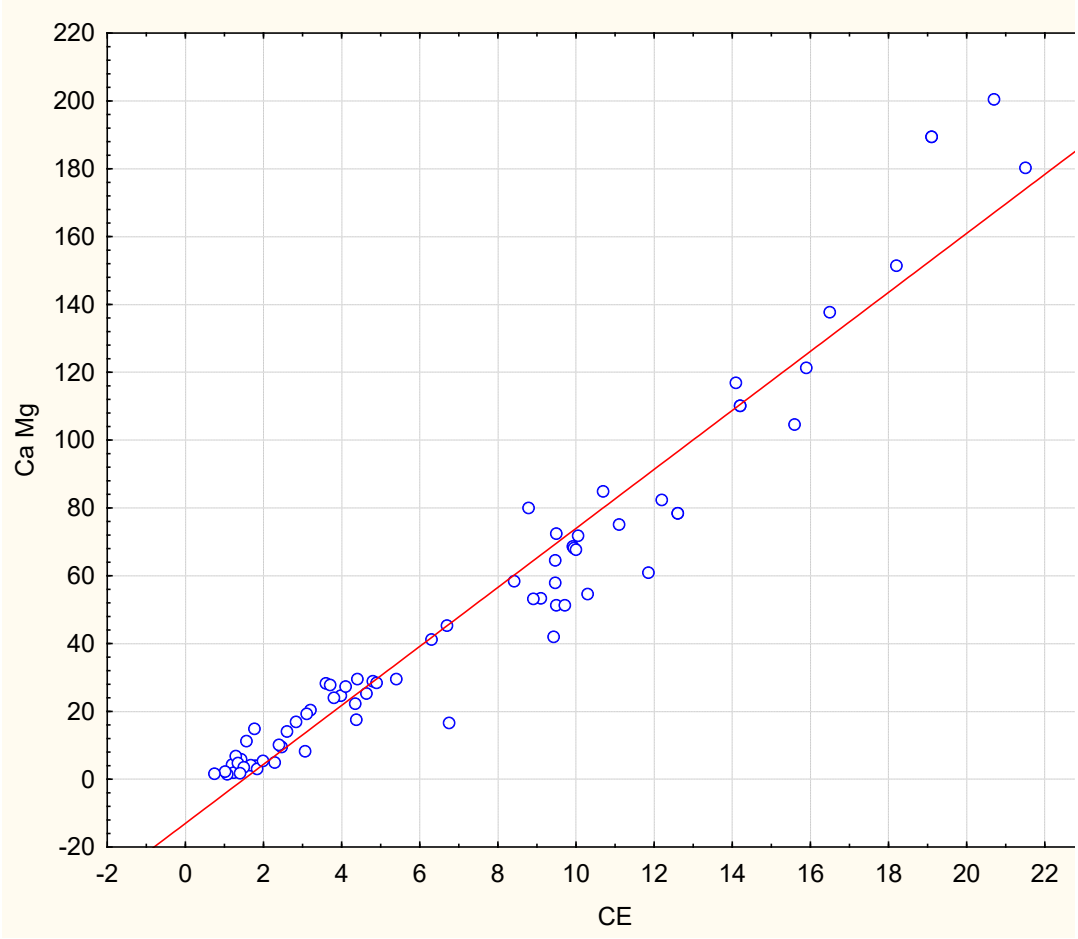


Figura 18. Regresión lineal entre los valores de calcio y magnesio en el extracto de saturación en función de la conductividad eléctrica

Tabla 3. Test de Tuckey de la variable pH para la interacción temporada-drenaje-profundidad de riego

Cell No.	TEMPORADA	DRENAJE	PROF RIEGO	pH Mean	1	2	3
Tukey HSD test; variable pH (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE							
Homogenous Groups, alpha = ,05000							
Error: Between MS = ,12421, df = 16,000							
7	2	SD	R20	6,066667		****	
5	2	CD	R20	6,466667	****	****	
8	2	SD	R0	6,700000	****	****	
3	1	SD	R20	6,790000	****	****	
1	1	CD	R20	6,793333	****	****	
2	1	CD	R0	7,226667	****		****
6	2	CD	R0	7,333333	****		****
4	1	SD	R0	7,910000			****

Tabla 4: Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica y temporada

Cell No.	TEMPORADA	CE Mean	1	2
Tukey HSD test; variable CE (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 3,4024, df = 16,000				
1	1	5,441667	****	
2	2	9,650000		****

Tabla 5. Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica con drenaje y sin drenaje

Cell No.	DRENAJE	CE Mean	1	2
Tukey HSD test; variable CE (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 3,4024, df = 16,000				
1	CD	5,637500	****	
2	SD	9,454167		****

Tabla 6. Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica y la profundidad del riego

Cell No.	PROF RIEGO	CE Mean	1	2
Tukey HSD test; variable CE (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 3,4024, df = 16,000				
2	R0	4,69333	****	
1	R20	10,39833		****

Tabla 7. Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio (RAS) y temporada

Cell No.	TEMPORADA	RAS Mean	1	2
Tukey HSD test; variable RAS (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 6,3113, df = 16,000				
2	2	6,72457	****	
1	1	20,03898		****

Tabla 8. Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio (RAS) y drenaje.

Cell No.	DRENAJE	RAS Mean	1	2
Tukey HSD test; variable RAS (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 6,3113, df = 16,000				
1	CD	12,09222	****	
2	SD	14,67134		****

Tabla 9: Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio (RAS) y profundidad de riego.

Cell No.	Tukey HSD test; variable RAS (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 6,3113, df = 16,000			
	PROF RIEGO	RAS Mean	1	2
2	R0	11,68616	****	
1	R20	15,07740		****

Tabla 10: Test de Tuckey de la variable sodio (Na) para la interacción temporada, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L)

Cell No.	Tukey HSD test; variable Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 280,05, df = 48,000						
	TEMPORADA	UBICACIÒN	Na Mean	1	2	3	4
2	1	P	19,94416	****			
5	2	P	21,28250	****			
6	2	S	52,29833				****
3	1	S	73,78589		****		
1	1	L	78,74681		****	****	
4	2	L	98,95333			****	

Tabla 11: Test de Tuckey de la variable sodio (Na) para la interacción drenaje, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L)

Cell No.	Tukey HSD test; variable Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 280,05, df = 48,000						
	DRENAJE	UBICACIÒN	Na Mean	1	2	3	4
2	CD	P	19,1232	****			
5	SD	P	22,1035	****			
3	CD	S	48,4707		****		
1	CD	L	65,1262		****	****	
6	SD	S	77,6135			****	
4	SD	L	112,5740				****

Tabla 12: Test de Tuckey de la variable sodio (Na) para la interacción profundidad de riego, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L)

Cell No.	PROF RIEGO	UBICACIÒN	Na Mean	1	2	3	4
	Tukey HSD test; variable Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE						
	Homogenous Groups, alpha = ,05000						
	Error: Between MS = 280,05, df = 48,000						
5	R0	P	19,0771	****			
2	R20	P	22,1495	****			
6	R0	S	34,9210	****			
4	R0	L	63,2277		****		
3	R20	S	91,1632			****	
1	R20	L	114,4724				****

Tabla 13: Test de Tuckey de la variable calcio y magnesio para la interacción temporada ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L)

Cell No.	TEMPORADA	UBICACIÒN	Ca Mg Mean	1	2	3	4
	Tukey HSD test; variable Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE						
	Homogenous Groups, alpha = ,05000						
	Error: Between MS = 428,33, df = 48,000						
2	1	P	4,0634		****		
5	2	P	22,9542	****	****		
3	1	S	29,8472	****			
1	1	L	45,8927	****		****	
6	2	S	69,8808			****	
4	2	L	126,4017				****

Tabla 14: Test de Tuckey de la variable calcio y magnesio para la interacción drenaje, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L)

Cell No.	DRENAJE	UBICACIÒN	Ca Mg Mean	1	2	3
	Tukey HSD test; variable Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE					
	Homogenous Groups, alpha = ,05000					
	Error: Between MS = 428,33, df = 48,000					
5	SD	P	13,1699	****		
2	CD	P	13,8476	****		
3	CD	S	33,7342	****		
6	SD	S	65,9939		****	
1	CD	L	66,0765		****	
4	SD	L	106,2179			****

Tabla 15: Test de Tuckey de la variable calcio y magnesio para la interacción profundidad de riego, ubicación del punto de muestreo, profundo (P), superficial (S) y lateral (L).

Cell No.	PROF RIEGO	UBICACIÒN	Ca Mg Mean	1	2	3
Tukey HSD test; variable Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE						
Homogenous Groups, alpha = ,05000						
Error: Between MS = 428,33, df = 48,000						
5	R0	P	12,0867	****		
2	R20	P	14,9309	****		
6	R0	S	26,4100	****		
4	R0	L	67,3444		****	
3	R20	S	73,3181		****	
1	R20	L	104,9500			****

Tabla 16. Test de Tuckey de la variable pH para la interacción temporada-drenaje-profundidad de riego

Cell No.	TEMPORADA	DRENAJE	PROF RIEGO	pH Mean	1	2	3
Tukey HSD test; variable pH (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE)							
Homogenous Groups, alpha = ,05000							
Error: Between MS = ,07147, df = 16,000							
6	2	CD	R0	5,633333		****	
5	2	CD	R20	5,766667	****	****	
8	2	SD	R0	6,066667	****	****	
1	1	CD	R20	6,193333	****	****	
7	2	SD	R20	6,200000	****	****	
3	1	SD	R20	6,450000	****		
4	1	SD	R0	6,490000	****		
2	1	CD	R0	7,790000			****

Tabla 17. Test Tuckey para la variable conductividad eléctrica y la interacción temporada drenaje y profundidad de riego.

Cell No.	Tukey HSD test; variable CE (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,0989, df = 16,000							
	TEMPORADA	DRENAJE	PROF RIEGO	CE Mean	1	2	3	4
2	1	CD	R0	1,57000				****
3	1	SD	R20	8,96667	****			
1	1	CD	R20	9,47333	****			
4	1	SD	R0	10,44000	****	****		
6	2	CD	R0	10,90000	****	****		
8	2	SD	R0	15,30000		****	****	
5	2	CD	R20	16,00000			****	
7	2	SD	R20	20,13333			****	

Tabla 18. Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio y la interacción temporada, drenaje y profundidad de riego.

Cell No.	Tukey HSD test; variable RAS (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 8,8832, df = 16,000							
	TEMPORADA	DRENAJE	PROF RIEGO	RAS Mean	1	2	3	4
6	2	CD	R0	6,30083	****			
8	2	SD	R0	8,74189	****	****		
5	2	CD	R20	10,37574	****	****	****	
7	2	SD	R20	12,10721	****	****	****	
1	1	CD	R20	14,02687	****	****	****	
4	1	SD	R0	15,85984		****	****	****
2	1	CD	R0	18,26099			****	****
3	1	SD	R20	23,28587				****

Tabla 19. Test de Tuckey para la variable sodio factor drenaje

	Tukey HSD test; variable Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 546,96, df = 16,000			
Cell No.	DRENAJE	Na Mean	1	2
1	CD	65,1262	****	
2	SD	112,5740		****

Tabla 20. Test de Tuckey para la variable sodio y factor profundidad de riego

	Tukey HSD test; variable Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 546,96, df = 16,000			
Cell No.	PROF RIEGO	Na Mean	1	2
2	R0	63,2277	****	
1	R20	114,4724		****

Tabla 21. Test de Tuckey para la variable sodio y factor temporada

	Tukey HSD test; variable Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,06000 Error: Between MS = 546,96, df = 16,000			
Cell No.	TEMPORADA	Na Mean	1	2
1	1	78,74681	****	
2	2	98,95333		****

Tabla 22. Test de para la variable calcio y magnesio y el factor temporada

	Tukey HSD test; variable Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 713,93, df = 16,000			
Cell No.	TEMPORADA	Ca Mg Mean	1	2
1	1	45,8927	****	
2	2	126,4017		****

Tabla 23. Test Tuckey para la variable calcio y magnesio y el factor drenaje

Cell No.	DRENAJE	Ca Mg Mean	1	2
Tukey HSD test; variable Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 713,93, df = 16,000				
1	CD	66,0765	****	
2	SD	106,2179		****

Tabla 24. Test de Tuckey para la variable calcio y magnesio y el factor profundidad de riego

Cell No.	PROF RIEGO	Ca Mg Mean	1	2
Tukey HSD test; variable Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 713,93, df = 16,000				
2	R0	67,3444	****	
1	R20	104,9500		****

Tabla 25. Test de Tuckey para la variable pH y el factor temporada

Cell No.	TEMPORADA	pH Mean	1	2
Tukey HSD test; variable pH (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = ,09574, df = 16,000				
2	2	7,008333	****	
1	1	7,645833		****

Tabla 26. Test de Tuckey para la variable conductividad eléctrica y el factor temporada

Cell No.	TEMPORADA	CE Mean	1	2
Tukey HSD test; variable CE (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = ,69711, df = 16,000				
1	1	1,340833	****	
2	2	3,736667		****

Tabla 27. Test de Tuckey para la variable relación de adsorción de sodio y los factores temporada, drenaje y profundidad de riego.

Cell No.	TEMPORADA	DRENAJE	PROF RIEGO	RAS Mean	1	2	3
Tukey HSD test; variable RAS (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 4,8773, df = 16,000							
8	2	SD	R0	4,40338	****		
6	2	CD	R0	4,67767	****		
5	2	CD	R20	4,87748	****		
7	2	SD	R20	5,37636	****		
2	1	CD	R0	10,27994	****	****	
3	1	SD	R20	15,49727		****	****
1	1	CD	R20	15,95983		****	****
4	1	SD	R0	21,71344			****

Tabla 28. Test de Tuckey para la variable y el factor drenaje.

Cell No.	DRENAJE	Na Mean	1	2
Tukey HSD test; variable Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,10000 Error: Between MS = 17,140, df = 16,000				
1	CD	19,12321	****	
2	SD	22,10345		****

Tabla 29. Test de Tuckey para la variable calcio y magnesio y los factores temporada drenaje y profundidad de riego.

Cell No.	Tukey HSD test; variable Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 18,826, df = 16,000 TEMPORADA	DRENAJE	PROF RIEGO	Ca Mg Mean	1	2	3	4
4	1	SD	R0	2,18667	****			
1	1	CD	R20	3,12056	****			
3	1	SD	R20	4,17972	****			
2	1	CD	R0	6,76667	****			****
6	2	CD	R0	16,61000		****		****
8	2	SD	R0	22,78333		****	****	
7	2	SD	R20	23,53000		****	****	
5	2	CD	R20	28,89333			****	

Tabla 30. Test de Tuckey para la regresión lineal entre los valores de pH en función de la conductividad eléctrica

N=72	Regression Summary for Dependent Variable: pH (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RA R= ,81766059 R²= ,66856884 Adjusted R²= ,66383411 F(1,70)=141,21 p<,00000 Std.Error of estimate: ,41077 Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(70)	p-level
Intercept			7,602971	0,079481	95,6574	0,000000
CE	-0,817661	0,068809	-0,103643	0,008722	-11,8830	0,000000

Tabla 31. Test de Tuckey para la regresión lineal de los valores de sodio en función de la conductividad eléctrica.

N=72	Regression Summary for Dependent Variable: Na (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE (3)) R= ,80051456 R²= ,64082355 Adjusted R²= ,63569246 F(1,70)=124,89 p<,00000 Std.Error of estimate: 26,055 Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(70)	p-level
Intercept			12,81732	5,041426	2,54240	0,013224
CE	0,800515	0,071632	6,18257	0,553229	11,17543	0,000000

Tabla 32. Test de Tuckey para la regresión lineal para los valores de calcio y magnesio en función de la conductividad eléctrica.

	Regression Summary for Dependent Variable: Ca Mg (TESIS 20-06 PLS Y 1 Y 2 PH RAS Y CE (3 R= ,96932720 R²= ,93959523 Adjusted R²= ,93873230 F(1,70)=1088,8 p<0,0000 Std.Error of estimate: 12,417					
N=72	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(70)	p-level
Intercept			-13,0390	2,402606	-5,42703	0,000001
CE	0,969327	0,029376	8,7000	0,263654	32,99771	0,000000