



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

CARACTERIZACIÓN DE LA HUERTA EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA: EFICIENCIA DE RIEGO, SALINIZACIÓN-SODIFICACIÓN DE SUELOS

“Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo”

Autor: GARCÍA, Gonzalo Omar

Director: AIMAR, Darío César

Cátedra: Hidrología Agrícola

Codirector: ABASCAL, Sergio

Cátedra: Hidrología Agrícola

Evaluadores: PONCE, Juan Pablo

Cátedra: Horticultura

MÉNDEZ Mariano

Cátedra: Agrometeorología

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA
Santa Rosa (La Pampa) - Argentina 2019

Contenidos

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
Hipótesis	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
METODOLOGÍA, MODELOS Y TÉCNICAS	4
Ubicación	4
Objetivo 1. Evaluar el diseño hidráulico y su influencia en la uniformidad de aplicación. ...	5
Objetivo 2. Evaluar la operación del sistema de riego.	6
Objetivo 3. Evaluar la eficiencia de riego mediante el cálculo de la uniformidad de distribución y su influencia en el proceso de salinización-sodificación de los suelos.	7
RESULTADOS	9
Evaluación de diseño hidráulico	9
Invernáculo 1:	9
Invernáculo 2:	9
Invernáculo 3:	9
Operación del sistema de riego	10
Evaluación de eficiencia de riego mediante el cálculo de la uniformidad de distribución ...	11
Invernáculo 1	11
Invernáculo 2	13
Invernáculo 3	15
DISCUSIÓN.....	19
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	21
ANEXO.....	24

RESUMEN

La producción hortícola en la provincia de La Pampa se encuentra en desarrollo, en lo que respecta a cultivos bajo cubierta, en un 95% de los casos los sistemas de riego son por goteo. Para la obtención de cosechas de buena calidad y altos rendimientos es imprescindible que los sistemas de riego funcionen con una elevada eficiencia, un parámetro para medir eficiencia del sistema es el Coeficiente de Uniformidad (CU) que indica cuan homogénea en el espacio es aplicada la lámina de riego. Si bien el riego por goteo presenta numerosas ventajas, es conocido que su utilización puede generar la acumulación de sales en la zona radicular de los cultivos, esta concentración de sales se puede agravar si la uniformidad de distribución de la lámina aplicada no son adecuadas provocando en el corto-mediano plazo procesos de salinización y sodificación y produciendo merma en los rendimientos.

Los objetivos del trabajo fueron recopilar y analizar información que permita generar un diagnóstico de la situación actual de utilización del riego por goteo y de la influencia del mismo en los procesos de salinización-alcalinización, con la información obtenida se pudo evaluar el diseño hidráulico del sistema de riego, la operación del mismo y su CU y si esta última influía en la salinización y sodificación de los suelos.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que el diseño del sistema de riego es bueno y esto se ve también reflejado en un buen CU que presenta la huerta experimental. La operación del sistema es deficiente evidenciándose un área mojada superior a la planteada. La conductividad eléctrica del suelo presentó aumentos a lo largo del ensayo pero su patrón de distribución espacial no concuerda con el de uniformidad de aplicación.

Palabras clave: Coeficiente de uniformidad, conductividad eléctrica, diseño hidráulico.

ABSTRACT

Horticultural production in the province of La Pampa is in development, with regard to crops under cover, in 95% of cases the irrigation systems are drip. To obtain good quality crops and high yields it is essential that irrigation systems work with high efficiency; a parameter to measure system efficiency is the Uniformity Coefficient (UC) that indicates how homogeneous in the space the sheet is applied of irrigation. Although drip irrigation has numerous advantages, it is known that its use can generate the accumulation of salts in the root zone of the crops, this concentration of salts can be aggravated if the uniformity of distribution of the applied sheet are not adequate causing the short-medium term processes of salinization and sodification and reducing yields.

The objectives of the work were to collect and analyze information that allows to generate a diagnosis of the current situation of drip irrigation use and its influence on the salinization-

alcalinization processes, with the information obtained, the hydraulic design of the system could be evaluated of irrigation, the operation of the same and its UC and if the latter influenced the salinization and sodification of the soils.

The results obtained allowed us to conclude that the design of the irrigation system is good and this is also reflected in a good UC presented by the experimental garden. The operation of the system is deficient, showing a wet area superior to that raised. The electrical conductivity of the soil showed increases throughout the test but its spatial distribution pattern does not match that of uniformity of application.

Key words: Coefficient of uniformity, electrical conductivity, hydraulic design.

INTRODUCCIÓN

La producción hortícola en la provincia de La Pampa es escasa, se encuentra en constante desarrollo, en particular para los cultivos protegidos (Ghironi & Muguero, 2008). La Pampa tiene una demanda insatisfecha en calidad y cantidad de hortalizas. La producción local no supera el 5% del consumo provincial. En este marco, la producción de cultivos de hoja crece cada año en la región dada la cercanía a los centros de consumo y a la incorporación de innovaciones tecnológicas, asociadas especialmente al proceso de producción (Pineda Abella, 2014).

En la producción bajo cubierta, el 95% del riego se hace por goteo. Debido a que gran porcentaje de las perforaciones en la provincia de La Pampa presentan valores mayores a 2000 mg/l de Residuos Sólidos Totales (Roberto et al., 2008), además, valores de pH entre 8 a 8,5 y conductividades eléctricas (CE) de 1,5 dS.m⁻¹(Lang et al., 2013). El 22% de los establecimientos utilizan la ósmosis inversa. Se trata de una tecnología que, a través de membranas, disminuye la cantidad de sales (Pineda Abella, 2014).

Los sistemas de riego por goteo permiten conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicarla a los cultivos a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica (Liotta et al., 2015).

El riego por goteo es un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por medio de conductos cerrados que requieren presión. Desde el punto de vista agronómico, se denominan riegos localizados porque humedecen un sector de volumen de suelo, suficiente para un buen desarrollo del cultivo. También se lo denomina de alta frecuencia, lo que permite regar desde una a dos veces por día, todos los días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. La posibilidad de efectuar riegos frecuentes permite reducir notoriamente el peligro de stress hídrico, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el periodo del cultivo, mejorando las condiciones para el desarrollo de las plantas (Liotta et al., 2015).

El riego presurizado se inicia en nuestro país a principios de la década del '70, pero no se desarrolló en gran medida por las restricciones técnicas que presentaban los equipos, principalmente obstrucciones en los goteros. A partir de la década del '90, se intensificó su uso como consecuencia del aumento de las inversiones agrícolas. Este sistema de riego se caracteriza por presentar eficiencias de riego entre 90 a 95 % (Liotta et al., 2015). El concepto de eficiencia fue introducido por Israelsen (1932) para relacionar la cantidad de agua consumida en la producción de un cultivo dado, con la cantidad de agua movilizada para el riego (Wolters, 1992).

En la obtención de cosechas de buena calidad y altos rendimientos es imprescindible que los sistemas de riego funcionen con una elevada eficiencia (Cruz Leon, 2007).

El Coeficiente de Uniformidad (CU) es uno de los parámetros utilizados para medir la eficiencia de riego. En los sistemas de riego presurizados es poco probable que funcionen con una uniformidad perfecta. Para evaluar el CU la metodología más usada, es la de Merriam & Keller (1978), es una modificación de la ecuación obtenida originalmente para riego por aspersión de Christiansen (1942), el CU es un parámetro que permite evaluar el diseño de instalaciones en funcionamiento. En el diseño, el CU es una condición que se impone y que viene determinada por factores económicos. Un CU elevado (mayor homogeneidad de la lámina) exige mayor costo inicial de la instalación (mayores diámetros de tuberías, laterales más cortos, mayor número de reguladores de presión, etc.), mientras que un CU más bajo trae como consecuencia una lámina aplicada más heterogénea y un mayor consumo de agua (Fuentes Yagüe & García Legaspi, 1999).

Se ha considerado que los sistemas de riego a presión más tecnificados, tienen una eficiencia mayor que el riego por superficie. Sin embargo, hay que considerar que el manejo del sistema influye decisivamente en la eficiencia, de tal modo que un sistema poco tecnificado pero bien manejado resulta más eficiente que otro más tecnificado pero mal manejado (Fuentes Yagüe & García Legaspi, 1999).

Según Pereira (1999, 2002) la uniformidad de distribución funciona como el indicador que caracteriza el diseño mientras que la eficiencia de aplicación caracteriza el manejo del sistema. De aquí, resulta que la mejora de las producciones bajo riego pasa necesariamente por mejorar el sistema junto con su gestión o, en otras palabras, que es inconsistente buscar mejorar la gestión y la eficiencia sin identificar las características limitantes del sistema y sin encontrar sus respectivas soluciones (Santos Pereira et al., 2010). Por su parte, la eficiencia se volvió esencialmente un indicador de gestión y del potencial de ahorro de agua (Santos Pereira et al., 2010).

Si bien el riego por goteo presenta numerosas ventajas, es conocido que su utilización puede generar la acumulación de sales en la zona radicular de los cultivos (Gurovich, 1985), esta concentración de sales se puede agravar si la uniformidad de distribución de la lámina aplicada

no son adecuadas provocando en el corto-mediano plazo procesos de salinización y sodificación y produciendo merma en los rendimientos. Según Rhoades et al., (1989) se considera que un suelo es salino cuando posee una conductividad eléctrica (CE), en el extracto de saturación del suelo igual o mayor a 4 dS.m^{-1} , se relaciona al estrés salino con una reducción en el rendimiento de los cultivos (Maas, 1986).

En base a lo expuesto, en este trabajo se planteó la siguiente hipótesis y objetivos.

Hipótesis

1. El CU de riego provoca una variación en la lámina de riego asignada, esto conlleva una adición diferencial de sales ocasionando una variabilidad espacial en los procesos de salinización-sodificación de los suelos.

Objetivo general

Recopilar y analizar información que permita generar un diagnóstico de la situación actual de utilización del riego por goteo y de la influencia del mismo en los procesos de salinización-alcalinización, en las producciones bajo cubierta de la huerta experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa.

Objetivos específicos

1. Evaluar el diseño hidráulico y su influencia en la uniformidad de distribución.
2. Evaluar la operación del sistema de riego.
3. Evaluar la eficiencia de riego mediante el cálculo de la uniformidad de distribución y su influencia en el proceso de salinización-sodificación de los suelos.

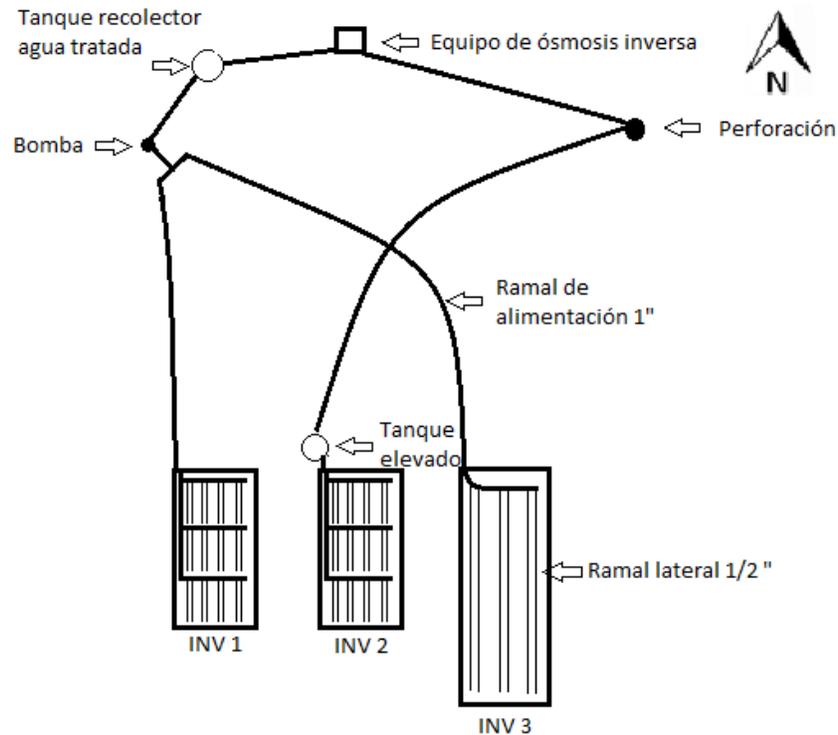
METODOLOGÍA, MODELOS Y TÉCNICAS

Ubicación

El ensayo tuvo lugar en la Huerta experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, ubicada sobre la Ruta Nacional N° 35, km 334, a 12 km al norte de la Ciudad de Santa Rosa, en el departamento Capital de la provincia de La Pampa. De acuerdo con el Inventario de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa, pertenece a la Región Fisiográfica Oriental, Subregión de las planicies con tosca. (Cano *et al.*, 1980)

Dicho ensayo estaba conformado por tres invernáculos, tipo macro túnel, todos dotados de riego localizado por goteo. El agua utilizada para el riego provenía de una perforación ($\text{pH} = 8.1$ y $\text{CE} = 2.16 \text{ dS.m}^{-1}$) situada en la huerta de la cual se regaba directamente el invernáculo 2, mientras que los invernáculos 1 y 3 fueron regados con agua tratada con ósmosis inversa ($\text{pH} = 6.9$ y $\text{CE} = 0.412 \text{ dS.m}^{-1}$) proveniente de la misma perforación.

A continuación se representa mediante un esquema la disposición de los macro túneles:



Objetivo 1. Evaluar el diseño hidráulico y su influencia en la uniformidad de aplicación.

Se tomaron datos a campo sobre componentes hidráulicos del sistema (diámetros, longitudes, características de la bomba, medición de presiones en diferentes tramos del sistema, diferencias de alturas entre puntos, etc) para caracterizar el diseño actual y evaluarlo con la metodología de Fuentes Yagüe (1996), con la finalidad de relacionarlo con los valores de CU obtenidos.



Imagen 1: Fotografías tomadas en la huerta de la FA, puede verse el interior del invernáculo 3, el tanque elevado abastecedor de agua del invernáculo 2, la perforación junto a los distintos ramales de alimentación y el tanque para almacenaje de agua tratada por osmosis inversa junto con la bomba y el regulador de presión.

Objetivo 2. Evaluar la operación del sistema de riego.

Se indagó en el modo de operación del sistema de riego a través de un cuestionario al encargado de la huerta y mediante la observación directa durante los periodos de operación, donde se analizó la presencia de pérdidas de agua en tuberías, cintas de riego y determinación de la lámina aplicada.

El cuestionario incluyó las siguientes preguntas:

1-¿Cuál es la lámina de riego que se pretende aplicar?

- 2-¿Con que frecuencia?
- 3-¿Cuál es la profundidad efectiva a regar?
- 4-¿Cuál es el caudal y la presión de trabajo de la bomba?
- 5-¿Cuál es la calidad del agua?
- 6-¿Utiliza alguna técnica para mejorar la calidad del agua?
- 7-¿Posee sistema de drenaje?
- 8-¿Controla la concentración de sales en el suelo?
- 9-¿Observa cambios en la producción a través del tiempo?
- 10- Se observará mediante el uso de pala barreno el avance del frente de humedad, para comprobar la profundidad de la misma.

Objetivo 3. Evaluar la eficiencia de riego mediante el cálculo de la uniformidad de distribución y su influencia en el proceso de salinización-sodificación de los suelos.

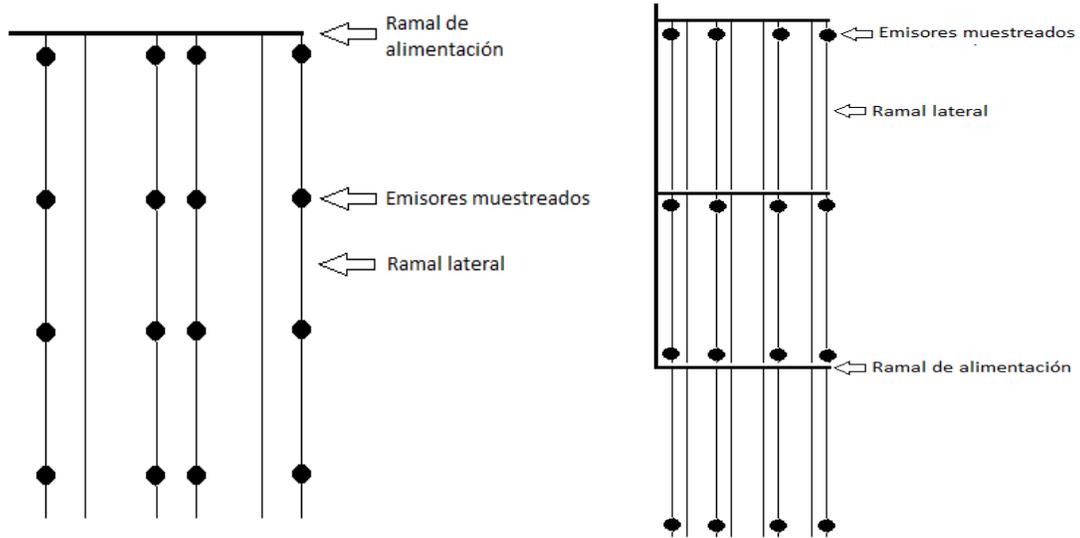
Se evaluó el CU calculado mediante el coeficiente de uniformidad de Merriam & Keller (1978) en cada invernáculo.

El CU se define mediante la expresión siguiente:

$$CU: \frac{\text{Caudal medio de los 4 emisores (25\% que erogaron el menor caudal)}}{\text{Caudal medio de los 16 emisores (100\%)}} \times 100$$

Para la determinación se eligieron 4 laterales (dos extremos y dos de la parte media). Se seleccionaron en cada lateral los emisores ubicados al inicio y al final además de los ubicados en el primer y segundo tercio del mismo. Con los datos obtenidos por muestra, se calculó la eficiencia de uniformidad. Los sistemas de riego presurizado se clasificaron en categorías según su CU (%) en: Excelente (90% - 100%), Buena (80% - 90%), Aceptable (70% - 80%) e Inaceptable (Menos de 70%).

A continuación se esquematiza el procedimiento de muestreo realizado para obtener el CU en los distintos invernáculos, en la imagen izquierda se representa el invernáculo 3 con tres platabandas, y la izquierda se aplica para invernáculos 1 y 2 con cuatro platabandas.



El suelo se caracterizó mediante la determinación de pH y CE (Schlichting *et al.*, 1995) en las muestras tomadas de cada platabanda. De cada muestra se registró la ubicación para luego asociarla con la localización de la lámina aplicada.



Imagen 2: Determinación de pH y CE.

Se realizaron Análisis de la Varianza (ANOVA), para la separación de medias, se utilizó la prueba LSD Fisher ($p < 0,01$). Todos los análisis estadísticos se elaboraron a partir del software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2009).

RESULTADOS

Evaluación de diseño hidráulico

Los resultados obtenidos mediante la metodología de Fuentes Yagüe fueron los siguientes:

Invernáculo 1:

Pérdida de carga máxima admisible en la sub unidad (h_{max}): 1.667 metros de columna de agua (mca).

Pérdida de carga admisible en el lateral: 0.833 mca.

Pérdida de carga en el ramal lateral: 0.0741 mca.

El diámetro del ramal lateral es válido.

Pérdida de carga admisible en el ramal de alimentación $1.667 \text{ mca} - 0.0741 \text{ mca} = 1.5929 \text{ mca}$.

Pérdida de carga en el ramal de alimentación: 0.2680 mca.

El diámetro del ramal de alimentación es válido.

Invernáculo 2:

Pérdida de carga máxima admisible en la sub unidad (h_{max}): 0.200 metros de columna de agua (mca).

Pérdida de carga admisible en el lateral: 0.100 mca.

Pérdida de carga en el ramal lateral: 0.0741 mca.

El diámetro del ramal lateral es válido.

Pérdida de carga admisible en el ramal de alimentación $0.200 \text{ mca} - 0.0741 \text{ mca} = 0.1259 \text{ mca}$.

Pérdida de carga en el ramal de alimentación: 0.0392 mca.

El diámetro del ramal de alimentación es válido.

Invernáculo 3:

Pérdida de carga máxima admisible en la sub unidad (h_{max}): 1.667 metros de columna de agua (mca).

Pérdida de carga admisible en el lateral: 0.833 mca.

Pérdida de carga en el ramal lateral: 0.6616 mca.

El diámetro del ramal lateral es válido.

Pérdida de carga admisible en el ramal de alimentación $1.667 \text{ mca} - 0.6616 \text{ mca} = 1.0051 \text{ mca}$.

Pérdida de carga en el ramal de alimentación: 1.968 mca .

El diámetro del ramal de alimentación no es válido.

La evaluación del diseño hidráulico mediante la metodología de Fuentes Yagüe indicó un dimensionamiento válido del sistema instalado, lo cual se corresponde con los valores de CU medidos en los invernáculos.

Operación del sistema de riego

Cabe aclarar que las preguntas realizadas al operador fueron a modo de entrevista informal en momentos donde se realizaban tareas de muestreo.

1-¿Cuál es la lámina de riego que se pretende aplicar?

No sé, prendo la bomba 10 minutos una vez a la semana.

2-¿Con que frecuencia?

Un riego por semana

3-¿Cuál es la profundidad efectiva a regar?

40 cm de profundidad, humedeciendo de esta manera la profundidad efectiva de raíces.

4-¿Cuál es el caudal y la presión de trabajo de la bomba?

El caudal de la bomba de la perforación es de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, mientras que la presión es desconocida.

5-¿Cuál es la calidad del agua?

El agua de perforación posee alta CE alrededor de $2 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$.

6-¿Utiliza alguna técnica para mejorar la calidad del agua?

Se trata el agua mediante ósmosis inversa para regar algunos invernáculos.

7-¿Posee sistema de drenaje?

No, no posee.

8-¿Controla la concentración de sales en el suelo?

Si se hacen análisis de suelo porque se hace investigación.

9-¿Observa cambios en la producción a través del tiempo?

Si, se ve menor crecimiento a lo largo del tiempo.

10-Se observó que el frente de humedad se encontraba en un rango de 80 a 100 cm, muy por debajo del objetivo de regar los primeros 40 cm de profundidad.

Evaluación de eficiencia de riego mediante el cálculo de la uniformidad de distribución

Invernáculo 1

En la figura 1 se puede observar la uniformidad de distribución en litros por hora, donde los mayores caudales se encuentran al pie del invernáculo, se obtuvo un coeficiente de uniformidad de 73%, clasificándola como Aceptable.

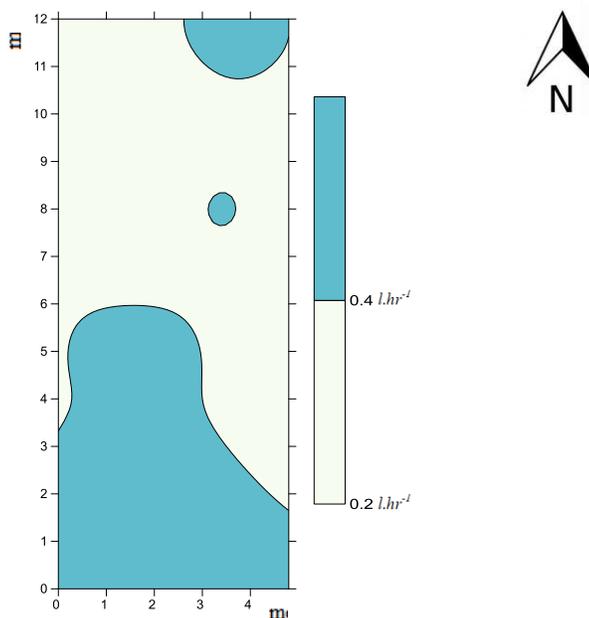


Figura 1: Uniformidad de distribución (litros.hora⁻¹). Representado en programa Surfer 11.

En la figura 2 se representa la conductividad eléctrica del suelo al momento inicial del ensayo (a) y al finalizar el mismo (b).

En el momento inicial puede observarse que la totalidad de la superficie se encuentra por debajo de 4 dS.m⁻¹ (umbral de salinidad) según la clasificación de suelos salinos sódicos de USDA (1954), alcanzando valores máximos de 2.2 dS.m⁻¹ y mínimos de 1.4 dS.m⁻¹.

El muestreo final arrojó valores máximos de 7.54 dS.m^{-1} , aunque gran parte del invernáculo se mantuvo por debajo de los 4 dS.m^{-1} .

Puede observarse que el incremento de CE coincide con la zona del invernáculo donde el aporte de agua es mayor.

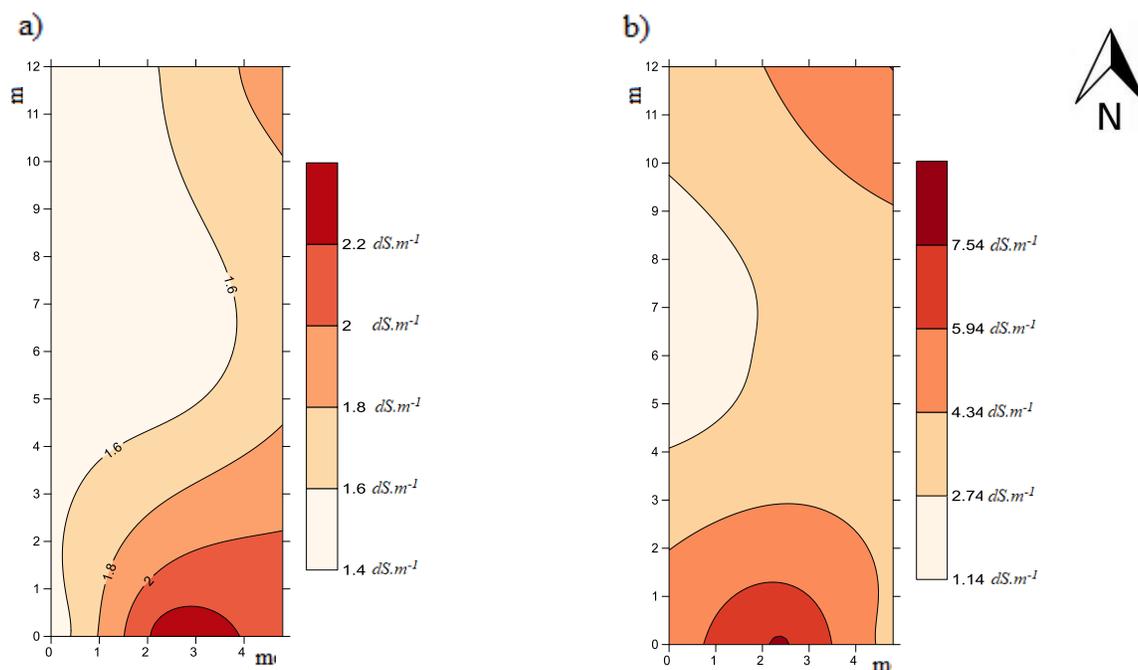


Figura 2: Conductividad eléctrica (dS.m^{-1}), a) muestreo Inicial 26/03/18, b) muestreo final 12/09/18. Representado en programa Surfer 11.

El análisis estadístico realizado mediante el test LSD Fisher arrojó diferencias altamente significativas de las medias de CE de cada muestreo, con un $p < 0,01$. Se observa un aumento promedio de la CE de 1.72 a 4.23 dS.m^{-1} durante el transcurso del ensayo.

En la figura 3 se visualizan los valores de pH al momento inicial y final

El análisis de estos valores indica que si bien no siguieron un mismo patrón de distribución, los máximos (7.7) y mínimos (6.6) se mantuvieron estables durante el periodo de análisis.

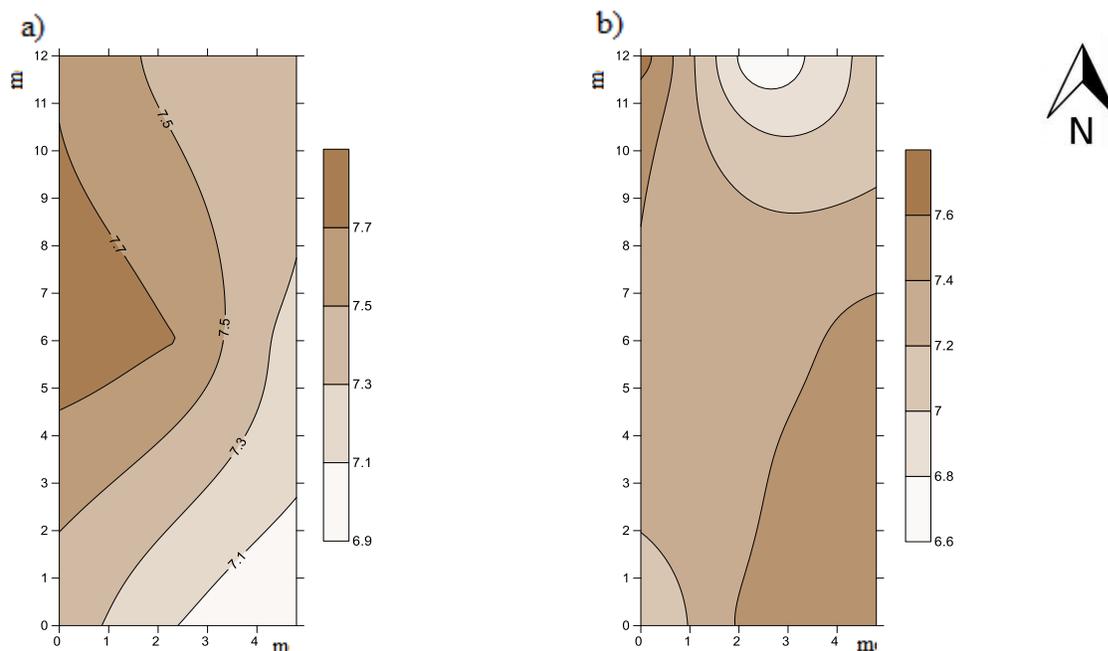


Figura 3: pH, a) muestreo inicial 26/03/18, b) muestreo final 12/09/18. Representado en programa Surfer 11.

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas entre las medias de pH, con un $p < 0,05$. Se puede observar una disminución de la media del muestreo final de 0,1, pasando de 7,39 a 7,29.

Según lo presentado anteriormente se observa un aumento promedio en la CE entre la fecha de muestreo inicial y final de $2,51 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que en la figura 2 se muestra la evolución de la CE presentando una similitud en el patrón espacial. En cuanto al pH no presentó variación significativa, disminuyendo una décima de unidad a lo largo del ensayo.

Invernáculo 2

La determinación del coeficiente de uniformidad puede observarse en la figura 4, el valor obtenido fue del 80%, pudiéndose clasificar como aceptable-buena.

En la figura 5 se analiza la CE, donde puede verse una situación inicial con conductividad elevada, con más del 50% de invernáculo con valores por encima de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que la determinación final arrojó valores extremos de $19 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

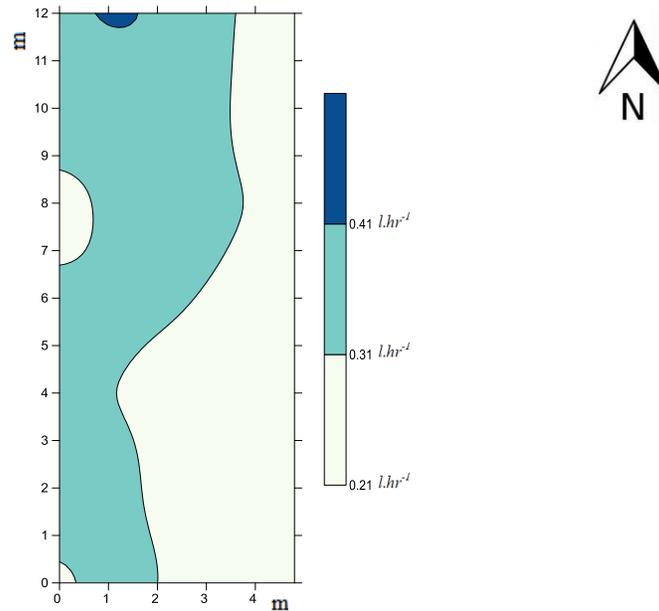


Figura 4: Uniformidad de distribución ($litros.hora^{-1}$). Representado en programa Surfer 11.

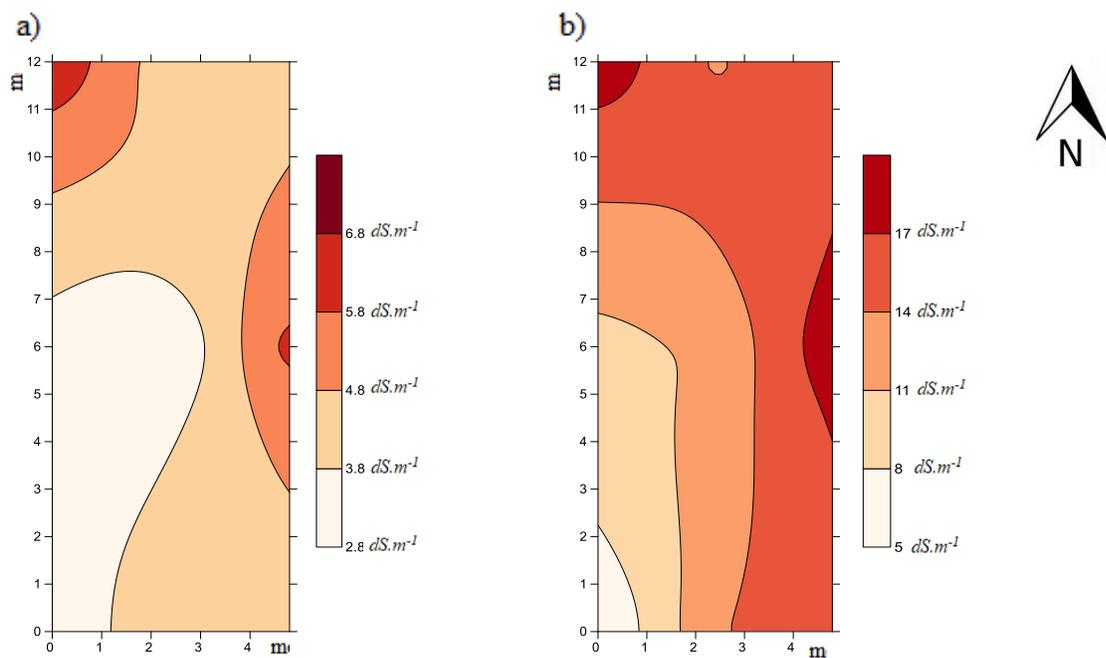


Figura 5: Conductividad eléctrica ($dS.m^{-1}$), a) muestreo Inicial 26/03/18, b) muestreo final 12/09/18. Representado en programa Surfer 11.

El análisis estadístico determinó diferencias altamente significativas entre medias de CE para un $p < 0,01$; con un aumento de la media de $6,76 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en la situación inicial a $13,92 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en el muestreo final. El patrón del incremento de CE no coincide con el patrón del CU.

Como se observa en la figura 6, el pH evidencia un leve cambio con valores más bajos al finalizar el ciclo. Presentando el análisis estadístico diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre medias, pudiéndose ver una disminución de la media de $7,20$ a $6,76$.

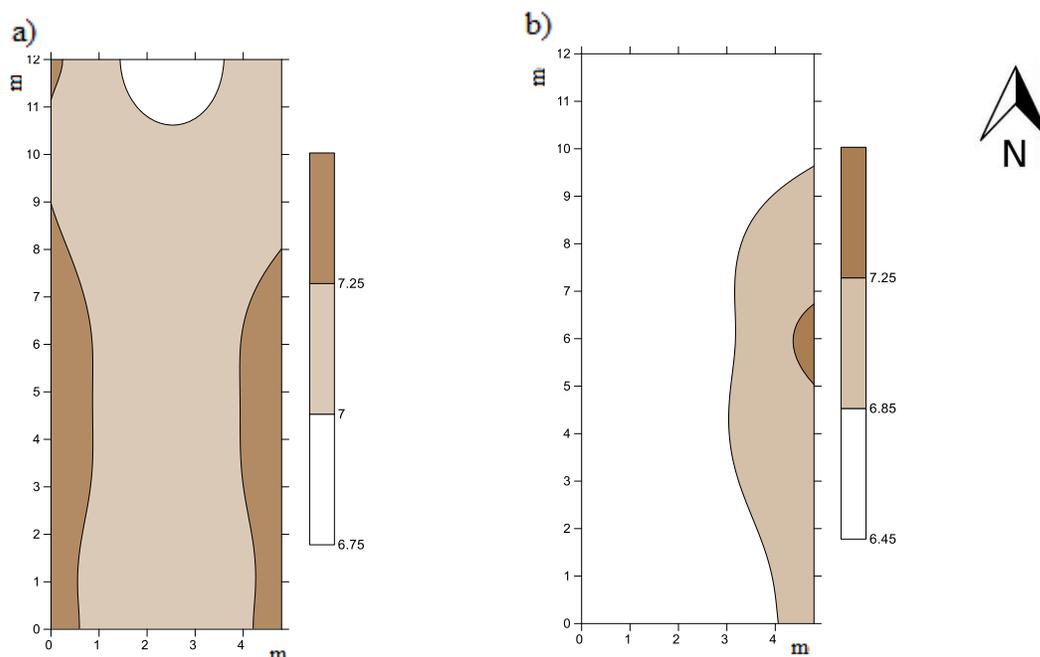


Figura 6: Valores de pH a) muestreo inicial 26/03/18, b) muestro final 12/09/18. Representado en programa Surfer 11.

En este invernáculo el CU fue del 80% con caudales levemente mayores en la parte izquierda del mismo, se observa también un aumento promedio en la CE entre la fecha de muestreo inicial y final de $7,16 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que en la figura 5 se muestra la evolución de la CE presentando una similitud en el patrón espacial. El pH presentó diferencias ($p < 0,01$) observándose una disminución de la media en el muestreo final de $0,44$ unidades.

Invernáculo 3

En la figuras 7 a) y b) se observa la uniformidad de distribución en litros por hora. Fueron determinados los coeficientes de uniformidad en dos momentos, arrojando resultados por encima del 90%, clasificando al sistema de riego presurizado según su uniformidad alcanzada como

excelente. Los valores obtenidos fueron de 93% para la determinación del mes de agosto y de 91% para la de septiembre.

En ambas determinaciones es posible observar un patrón de distribución similar, donde los mayores caudales se encuentran en la cabecera del invernáculo, cabe remarcar que la diferencia entre caudales máximos y mínimos erogada por los emisores fue de 0.1 l.h^{-1} .

Por otro lado, ya presentados los valores de CU de los 3 invernáculos se puede obtener un valor promedio de CU de todo el sistema, arrojando este un resultado de 81,66%.

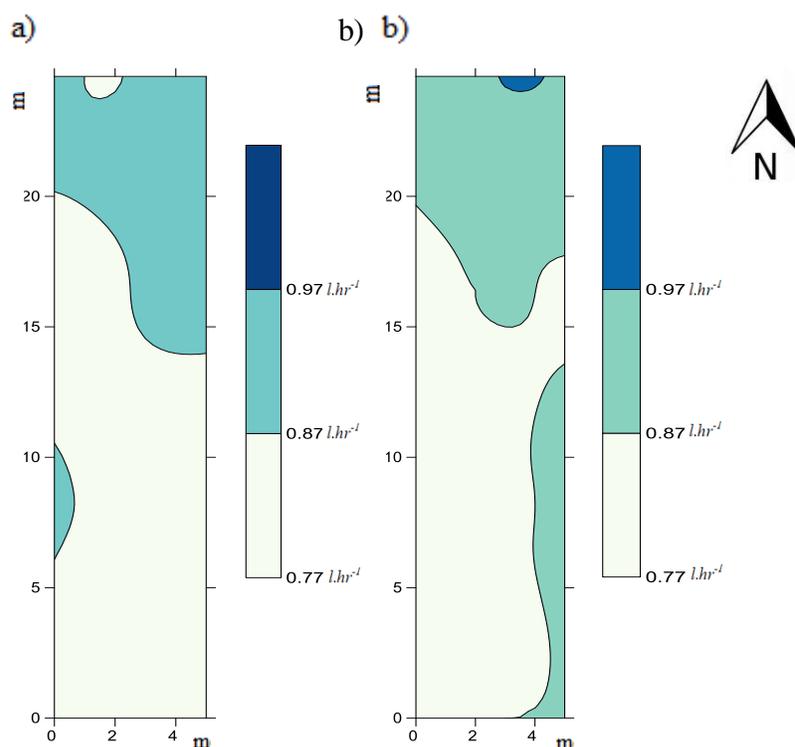


Figura 7: Uniformidad de distribución (litros.hora^{-1}). Representado en programa Surfer 11. Figura a) determinación del CU, 08/08/18. Figura b) determinación día 12/09/18.

La CE presenta diferencias significativas entre medias ($p < 0,01$) de las distintas fechas de muestreo. En la figura 8 se grafican en un plano los resultados iniciales y finales de CE (dS.m^{-1}) respectivamente, hubo un aumento generalizado en todo el invernáculo de 1 dS.m^{-1} , pasando de valores que oscilaban entre 0.4 y 1 dS.m^{-1} en gran parte del invernáculo, a una situación final con resultados de CE de 1.5 a 2 dS.m^{-1} . Este aumento uniforme de la CE podría atribuírsele al alto CU que presenta este invernáculo.

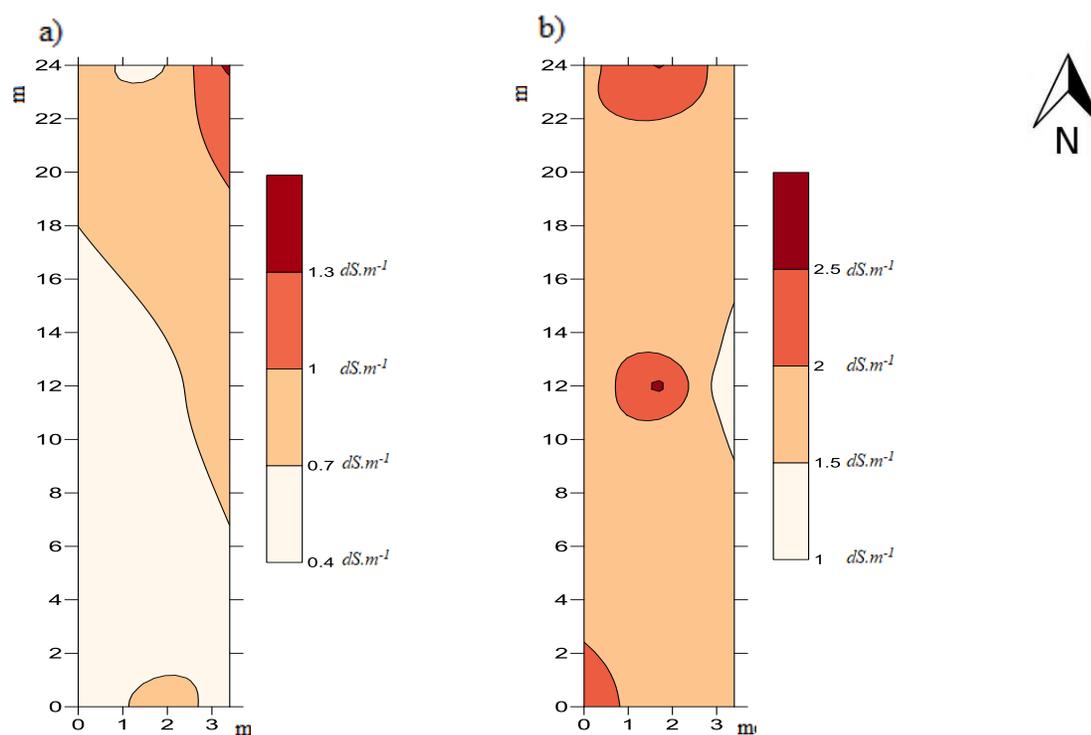


Figura 8: Conductividad eléctrica ($dS.m^{-1}$), a) muestreo Inicial 26/03/18. b) muestreo final 12/09/18. Representado en programa Surfer 11.

En la figura 9 se observan los valores iniciales y finales de pH. Al igual que en los demás invernáculos, el pH se mantuvo estable con oscilaciones cercanas a la neutralidad, obteniendo valores límites inferiores de 6.7 y superiores de 7.3.

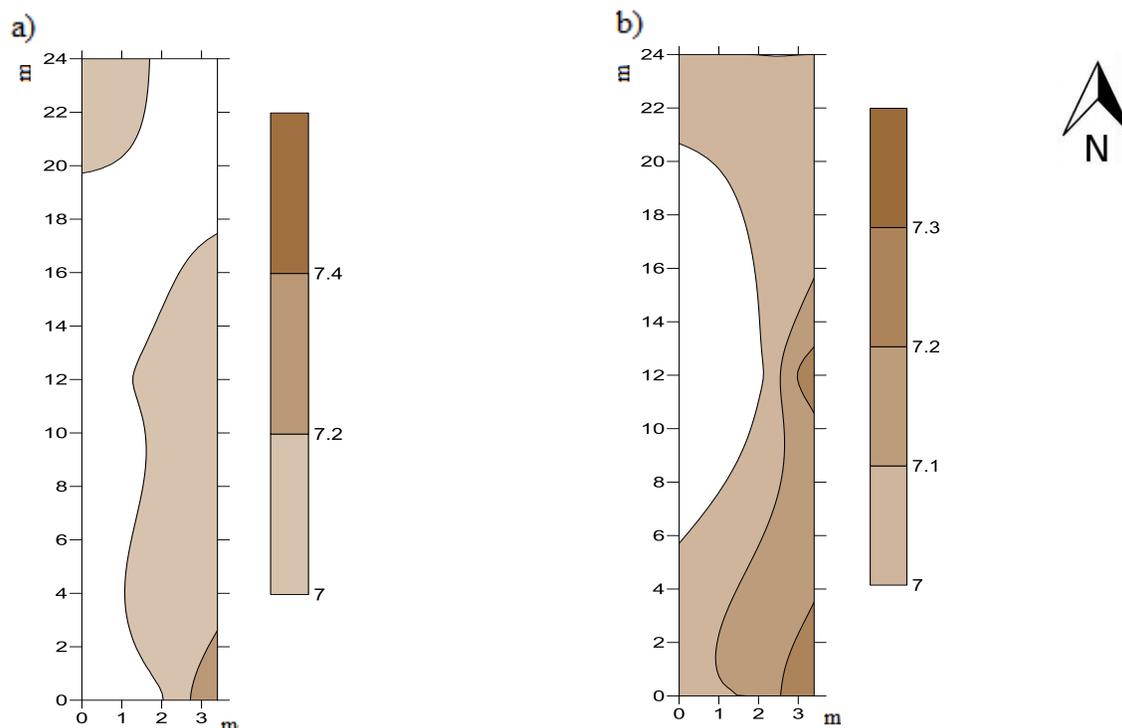


Figura 9: Valores de pH, a) muestreo inicial 26/03/18, b) muestro final 12/09/18. Representado en programa Surfer 11.

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas entre medias de pH para un $p > 0,05$, pasando de 7,02 en el muestreo inicial a 7.06 en la situación final.

En los dos momentos de determinación del CU puede observarse un patrón de distribución similar, coincidente con los altos valores de coeficientes obtenidos. Hay un aumento en la CE entre las fechas iniciales y finales de muestreo de $1,17 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ que no evidencian en la figura 8 una relación espacial tan marcada en la evolución de la CE. El pH no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) aumentando en promedio en 0,04 unidades. Al igual que en el invernáculo 1, este también fue regado con agua previamente tratada con osmosis inversa y ambos presentaron un aumento de la CE estadísticamente significativo, aunque menor que el invernáculo 2 que fue regado con agua sin tratamiento previo, este resultado evidencia el menor aporte de sales que se logra al tratar el agua para riego, pero no evita la acumulación de estas en el suelo, si no, que retrasa el proceso de salinización.

DISCUSIÓN

El valor promedio del CU del sistema alcanzó un 81.66 %, clasificándose como bueno según Merriam y Keller (1978) los cuales concuerdan con el correcto diseño del sistema de riego evaluado mediante la metodología de Fuentes Yague y confirma lo expuesto por Pereira (1999, 2002) el cual enuncia que la uniformidad de distribución funciona como un indicador que caracteriza el diseño. Resultados de valores más altos fueron informados por Ajete y Bonet (2007) y Bonet y Miriel (2007) en evaluaciones realizadas en invernáculos de 12 m x 45 m con goteros, donde los coeficientes de uniformidad obtenidos estuvieron cercanos al 94%. Valores de CU altos también fueron hallados por Basso et al., (2008) evaluando la uniformidad del riego y efecto del fertirriego nitrogenado en un huerto de *Carica papaya* L. En las cuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán, Fontela et al., (2009) informaron resultados que indican que un 18% de las subunidades de riego por goteo estudiadas, se encuentran por debajo del rango recomendado presentando reducidos CU. No obstante, el 82 % restante presentó buena uniformidad y, dentro de ese porcentaje, el 25% pertenece al rango recomendado y el 57% sobrepasa esas condiciones con CU que superan el 90%.

Las propiedades físico-químicas del suelo se caracterizan por presentar variabilidad espacial, como respuesta a las complejas interacciones entre procesos físicos, químicos y biológicos, que con diferente intensidad actúan simultáneamente (Mallarino & Vittry 2004). Sumado a esto el aporte diferencial de sales debido a la distribución de la lámina de riego aporta aún más variabilidad. Con respecto de la influencia del CU con la producción del cultivo, Cun González et al., (2011) encontró relación directa entre la uniformidad de riego y la uniformidad en la producción del cultivo, siempre y cuando no existan otros factores limitantes como problemas de nutrientes y problemas fitosanitarios. Por otro lado, Martelloa et al., (2012) observó una muy baja correlación entre atributos del cultivo y orificios tapados y entre aquéllos y los caudales de los emisores.

En relación a los resultados obtenidos de CE en los invernáculos de este trabajo, se observaron diferencias altamente significativas entre medias, presentando en todos los casos un aumento de la CE en el muestreo final, contraponiéndose con Morábito et al., (2010) que en un trabajo sobre la evolución de la salinidad de suelos regados realizado dentro del área cultivada en la cuenca del río Mendoza, colindante con la cuenca del río Tunuyán inferior, concluye que no existen diferencias significativas de CE entre las lecturas obtenidas en los años 1973 y 2002, mientras que Vázquez et al., (2006) encontró que en riego complementario por aspersion , el riego provocó leves aumentos de salinidad (CE) en las Series Santa Ana (establecimiento Reserva) y San Jorge (establecimiento Milagro), independientemente de la profundidad y año de muestreo resultados que están en línea con lo observado en el presente estudio.

En cuanto al pH en este trabajo, se observó que los invernáculos 1 y 3, ambos regados con agua previamente tratada con ósmosis inversa, no presentaron diferencias estadísticas entre medias de muestreos inicial y final y en el caso del invernáculo 2 regado con agua directamente de perforación, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas, marcando una disminución en 0,44 unidades de pH entre medias iniciales y finales. Al respecto Spedaletti (2015) informó rangos neutros en los primeros 20 cm del suelo, en un ensayo anterior al presente estudio. Resultados similares a los de este trabajo fueron hallados por Etcheverry y Génova (2015) en suelos de la cuenca del Río Arrecifes donde estudiaron la evolución edafosalina de los suelos regados, y encontraron que todas las series de suelos incrementaron los valores de los indicadores salinos a causa del riego, resultando porcentualmente bajos los aumentos de pH y muy altos los incrementos de la CE y del PSI.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo permitieron demostrar que:

- La huerta experimental de la Facultad de agronomía presenta un diseño hidráulico bueno, lo cual concuerda con los valores de CU hallados. Pudiéndose usar este último como indicador del diseño.
- La operación del sistema de riego es deficiente, ya que la profundidad del frente de humedad no concuerda con los objetivos.
- La eficiencia de distribución del sistema de riego utilizado en la huerta de la Facultad de Agronomía de la UNLPam se clasifica como buena según Merriam y Keller (1978).
- La CE se incrementó en todos los invernáculos evaluados a lo largo del ciclo y ese incremento fue mayor en el invernáculo regado con agua de la perforación sin tratamiento de ósmosis inversa.
- La variación de pH es porcentualmente baja manteniéndose en rangos cercanos a la neutralidad.
- El patrón de cambio CE y pH no sigue claramente al patrón del CU.

BIBLIOGRAFÍA

- Cano, E.; Casagrande, G.; Conti, H.; Salazar Lea Plaza, J.; Peña Zubiato, C.; Maldonado Pinedo, D.; Martínez, H.; Hevia, R.; Scoppa, C.; Fernández, B.; Montes, M.; Musto, J. y Pittaluga, A. (1980). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de La Pampa, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 493 pp.
- Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Bulletin 670. California Agric. Expt. Station, Univ. of Calif., Davis, Calif.
- Cruz, R.; Leon L.: Evaluación del sistema de riego localizado del cultivo del pimiento (*Capsicum annum* L.) en casas de cultivo protegido en las condiciones de la Empresa Pecuaría Genética Camilo Cienfuegos. , En: Memorias de Cubariego 2007, La Habana, Cuba, 2007.
- Cun González, R., Puig Estrada, O., Morales Gómez, C., & Duarte Díaz, C. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(1), 36-39.
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Etcheverry M. & L. Génova. Uso sustentable de los recursos hídricos y edáficos para riego complementario de maíz y soja en la Cuenca del Río Arrecifes, Provincia de Buenos Aires Rev. la Fac. Agron., 114 (2015)
- Fuentes Yagüe J. L., & G. García Legaspi. 1999. Técnicas de Riego, Sistemas de Riego en la Agricultura.
- Ghironi E. M. & A. F. Muguiro. 2008. Caracterización del productor hortícola de La Pampa. www.aader.org.ar/XIV_Jornada/ejodos/Trab20-Ghironi-Muguiro.doc.
- Gurovich, L. (1985). Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, Costa Rica. Capítulo 6. p. 143-168.
- Lang, M.; Lipinski, V. y Balcaza, L. (2013). Efecto de la aplicación de enmienda y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. Horticultura Argentina 32 (79): 32-42.
- Liotta M., R. Carrión, N. Ciancaglini & A. Olgún. 2015. Manual de capacitación: riego por goteo. https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf.

- Mallarino, A. P. y Wittry, D. J. 2004. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agriculture* 5: 131–144.
- Maldonado Rojas T. 2001. Manual de Riego Parcelario. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. Capítulo 3. p. 39-53.
- Martelloa, M., Bortolinia, L., & Morabito, J. 2012. Uniformidad de distribución del riego por goteo en vid: su impacto sobre los índices de vegetación, la cantidad y calidad de la producción. Caso de estudio en Mendoza, Argentina.
- Maas, E. (1986). Salt tolerance of plant. *Applied Agricultural Research* 1: 12-26.
- Merriam, J.L., Keller, J. 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A Guide to Management. Utah State University. Logan, Utah.
- Pineda Abella M. 2014. Prácticas de manejo para una horticultura saludable y sustentable. http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=practicass_de_manejo_para_una_horticultura_saludable_y_sustentable&id=2059.
- Pereira, L.S., 1999. Higher performances through combined improvements in irrigation methods and scheduling: A discussion. *Agric. Water Manag.* 40: 153-169.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.* 57: 175-206.
- Pereira L.S., J. A. de Juan Valero, M. R. Picornell Buendía, J. M. Tarjuelo Martín-Benito. 2010. El riego y sus tecnologías.
- Rhoades, J.; Manteghi, N.; Shouse, P. y Alves, W. (1989). Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal.* 53: 433-439.
- Roberto, Z., Tulio, J y Malán, J. 2008. Cartografía de agua subterránea para uso ganadero en La Pampa. Publicación Técnica N° 73. EEA Anguil, INTA. 25 pp.
- Schlichting, E.; H. P. Blume & K. Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum (Manual Práctico de Ciencias del suelo)*. Paul Parey Verlag. Hamburg- Berlin. Pp. 295.
- Spedaletti, M. (2015). Evaluación de la influencia del manejo en la evolución del perfil de salinidad en huertas bajo cubierta de la localidad de Santa Rosa, provincia de la Pampa. Trabajo Final de Graduación para alcanzar el grado de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente. UNLPam. 53 pp.

- Tozzi, F., Mariani, A., Vallone, R., & Morábito, J. (2017). Evolución de la salinidad de los suelos regadíos del río Tunuyán Inferior (Mendoza-Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(1), 79-93.
- USDA. Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agricultural Handbook No. 60. USDA, Washington.
- Vázquez, M.; Millán G. y Gelati P.. Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 57-67, 2006.
- Wolters, W., 1992. *Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use*. ILRI Public. Nº 51, ILRI, Wageningen, The Netherlands.

ANEXO

Invernáculo 1

CE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	18	0,48	0,44	46,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28,20	1	28,20	14,59	0,0015
Muestreo	28,20	1	28,20	14,59	0,0015
Error	30,93	16	1,93		
Total	59,13	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,01 DMS=1,91428

Error: 1,9330 gl: 16

Muestreo	Medias	n	E.E.
F1	1,72	9	0,46 A
F2	4,23	9	0,46 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Imagen 3: Análisis de la varianza, CE

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	18	0,03	0,00	4,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	1	0,05	0,44	0,5167
Muestreo	0,05	1	0,05	0,44	0,5167
Error	1,64	16	0,10		
Total	1,68	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,01 DMS=0,44051

Error: 0,1024 gl: 16

Muestreo	Medias	n	E.E.
F2	7,29	9	0,11 A
F1	7,39	9	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Imagen 4: Análisis de la varianza, pH

Invernáculo 2

CE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	18	0,59	0,56	30,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	230,77	1	230,77	22,68	0,0002
Muestras	230,77	1	230,77	22,68	0,0002
Error	162,81	16	10,18		
Total	393,58	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,01 DMS=4,39210

Error: 10,1756 gl: 16

Muestras	Medias	n	E.E.
F1	6,76	9	1,06 A
F2	13,92	9	1,06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Imagen 5: Análisis de la varianza, CE

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	18	0,48	0,45	3,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,89	1	0,89	14,78	0,0014
Muestras	0,89	1	0,89	14,78	0,0014
Error	0,96	16	0,06		
Total	1,85	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,01 DMS=0,33765

Error: 0,0601 gl: 16

Muestras	Medias	n	E.E.
F2	6,76	9	0,08 A
F1	7,20	9	0,08 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Imagen 6: Análisis de la varianza, pH

Invernáculo 3

CE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	18	0,68	0,66	32,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,17	1	6,17	34,01	<0,0001
Muestreos	6,17	1	6,17	34,01	<0,0001
Error	2,90	16	0,18		
Total	9,08	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,01 DMS=0,58653

Error: 0,1815 gl: 16

Muestreos	Medias	n	E.E.
F1	0,73	9	0,14 A
F2	1,90	9	0,14 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Imagen 7: Análisis de la varianza, CE

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Columna2	18	0.01	0.00	2.89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	1	0.01	0.16	0.6905
Columnal	0.01	1	0.01	0.16	0.6905
Error	0.66	16	0.04		
Total	0.67	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.20331

Error: 0.0414 gl: 16

Columnal	Medias	n	E.E.
F1	7.02	9	0.07 A
F2	7.06	9	0.07 A

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

Imagen 8: Análisis de la varianza, pH