



**PROPOSAL LIFE 16-ENV-ES-000341**

**“DESALINATED SEAWATER FOR ALTERNATIVE AND SUSTAINABLE SOILLESS CROP PRODUCTION”**



**“First year report: evolution of physical-chemical soil properties and plants nutrients”**

**ACCIÓN B.3. “CROP AND SOIL RESPONSE TO TREATMENTS AND SET UP OF DRAINAGES QUALITY”**



**“30/09/2019”**

---



## ÍNDICE

<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	5
3.2. Diseño experimental.....	5
3.3. Diseño de muestreo y toma de muestras.....	7
3.4. Análisis de laboratorio.....	8
3.4.1. Determinación de las propiedades fisicoquímicas y concentración de nutrientes del suelo.....	8
3.4.2. Determinación de la concentración de nutrientes en planta.....	9
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
4.1. Características y concentración de nutrientes en el agua de riego.....	10
4.2. Efecto del agua de riego en las propiedades y constituyentes del suelo.....	17
4.3. Efecto del agua de riego en la concentración de macronutrientes del suelo.....	21
4.4. Efecto del agua de riego en la concentración de micronutrientes del suelo.....	26
4.5. Efecto del agua de riego en la salinidad y los elementos fitotóxicos del suelo.....	28
4.6. Efecto del agua de riego en las propiedades físicas del suelo.....	34
4.7. Efecto del agua de riego en la concentración de nutrientes en planta.....	37
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEJOS</b>	
Anejo 1. Fotos.....	52



## **ABSTRACT**

The main objective of this report is to present the results of the first year trial on the effect of the use of desalinated seawater (DSW) with three levels of salinity on both the physical-chemical and physical properties of soils and the accumulation of phytotoxic element on soils. In addition, the effect of the use of water (DSW) on nutrient uptake by crop grown in both hydroponics and soil systems (greenhouse tomato), for two crop cycles (autumn-winter and spring-summer) will be presented. The results have shown that there are no differences between treatments for the soil physical-chemical properties and constituents and for the soil physical properties evaluated. On the contrary, differences were observed in the behaviour of some nutrients and potentially phytotoxic elements in soils. Finally, differences were observed in the absorption of some nutrients by the crop in the different treatments performed.

## **RESUMEN**

El objetivo de este informe es presentar los resultados del primer año de ensayos sobre el efecto del uso de agua marina desalinizada con tres grados de salinidad tanto en las propiedades físico-químicas y físicas de los suelos como en la acumulación de elementos fitotóxicos en los mismos. De igual modo, se presentará el efecto del uso de agua en la absorción de nutrientes por el cultivo (tomate en invernadero) cultivado tanto en hidropónico como en suelo, para dos ciclos de cultivo (otoño-invierno y primavera-verano). Los resultados han mostrado que no existen diferencias entre tratamientos para las propiedades físico-químicas y constituyentes del suelo ni para las propiedades físicas evaluadas, por el contrario, se observaron diferencias en el comportamiento de ciertos nutrientes y elementos potencialmente fitotóxicos en los suelos. De igual modo, se observaron diferencias en la absorción de algunos nutrientes por el cultivo en los distintos tratamientos realizados.



## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de agua marina desalinizada (DSW) para el riego agrícola supone un recurso que garantiza un aporte continuo de agua (Martínez y Martín, 2014) y debería ser considerada como una alternativa a las fuentes tradicionales de la misma, sobre todo en zonas de escasez como es el sur de Europa. Sin embargo, presenta una serie de características que deben de ser consideradas para que su uso no suponga riesgos tanto para la producción de los cultivos como para la sostenibilidad del suelo, estas características y sus efectos se resumen a continuación:

- *Excesivas concentraciones de cloruros y sodio*, el DSW presenta altas concentraciones de cloruros y sodio, lo que puede ocasionar toxicidades específicas en los cultivos, siendo el grado de afección dependiente del tipo de cultivo (Morris y Devitt, 1991). De igual modo, estos elementos pueden competir con otros nutrientes en su absorción por parte del cultivo, tal es el caso de la competencia de los cloruros con los nitratos o el sodio con el potasio, provocando como consecuencia deficiencias de estos elementos en el cultivo.
- *Bajas concentraciones de calcio, magnesio y sulfatos*, el DSW presenta bajas concentraciones de magnesio, sodio y sulfatos, lo que ocasiona deficiencias nutricionales de estos elementos en el cultivo (Bar-Tal et al., 2001, Avni et al., 2013) si estos no son aportados con la fertilización (Ben-Gal et al., 2009). De igual modo, las bajas concentraciones de calcio y magnesio producen un desequilibrio con el sodio que puede llegar a ocasionar la pérdida de estabilidad de la estructura del suelo.
- *Elevadas concentraciones de boro*, el boro a un siendo un micronutriente esencial para las plantas, si se aporta en concentraciones excesivas puede producir toxicidades que afecten a la productividad del cultivo (Grieve et al., 2012). De igual modo, su acumulación en suelo puede provocar problemas de toxicidad a medio-largo plazo.
- *Riesgos de sodificación de suelos*, el uso continuado de agua marina desalinizada puede provocar un incremento de sodio en las posiciones de cambio del suelo, reemplazando otros cationes como calcio, magnesio y potasio, lo que provoca la dispersión de los agregados del suelo y favorece la rotura de la estructura del



mismo, dando lugar a una pérdida de porosidad, permeabilidad y aireación (Rouppet, 2006).

Por lo tanto, debido a las características del agua mariana desalinizada y sus posibles efectos tanto sobre los suelos como los cultivos, es necesario llevar a cabo ensayos demostrativos que muestren el correcto manejo que debe de realizarse con este tipo de agua, dichos ensayos deben de llevarse a cabo bajo condiciones de campo y a escala comercial para que puedan ser replicados. De igual modo es necesario mostrar los efectos reales que se pueden llegar a producir por el uso de este tipo de agua. Ambos aspectos se presentan en este informe de seguimiento realizado con los datos del primer año de ensayos y los dos primeros ciclos de cultivo.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo de este informe es presentar los resultados sobre el efecto del uso de agua marina desalinizada con tres grados de salinidad tanto en las propiedades físico-químicas y físicas de los suelos como en la acumulación de elementos fitotóxicos en los mismos. De igual modo, se evaluará el efecto del uso de este tipo de agua en la absorción de nutrientes por el cultivo (tomate en invernadero) cultivado tanto en hidropónico como en suelo, para los dos ciclos de cultivo (otoño-invierno y primavera-verano).

Este objetivo general puede desglosarse en los siguientes objetivos específicos:

- 1) Evaluación de las características y la concentración de nutrientes de los tres tipos de agua de riego usada.
- 2) Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la evolución de las propiedades físico-químicas y constituyentes del suelo.
- 3) Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la evolución del contenido de macronutrientes del suelo.
- 4) Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la evolución del contenido de micronutrientes del suelo.
- 5) Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la evolución de la salinidad y los elementos fitotóxicos del suelo.
- 6) Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en las propiedades físicas del suelo.



- 7) Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la concentración de nutrientes en el cultivo.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio se encuentra en la Provincia de Almería, en la Comunidad Autónoma de Andalucía, Sur de España. Concretamente, para el presente ensayo se ha seleccionado un invernadero localizado en el Campo de Prácticas de la Universidad de Almería “Catedrático Eduardo Fernández” de la Fundación UAL-ANECOOP, siendo su situación: Longitud: 2° 17' O, Latitud: 36° 51' N y Altitud: 90 m, concretamente en el módulo denominado U8 (Figura 1).



Figura 1. Localización del invernadero de ensayo

#### **3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Para la ejecución del ensayo fue necesario el suministro de tres tipos de agua de riego con diferente grado de salinidad (conductividades eléctricas), para lo cual se usaron:

- T1. Agua marina desalinizada con baja salinidad (0,5 dS/m).
- T2. Agua con moderada salinidad (1,5 dS/m).
- T3. Agua con elevada salinidad (3 dS/m).

A los tres tipos de agua se le añadió la fertilización necesaria para el correcto desarrollo del cultivo de tomate, por lo que la salinidad se incrementó ligeramente en cada uno de los tratamientos.





El diseño experimental consistió en dividir el invernadero en 18 parcelas, 9 ellas destinadas al cultivo en suelo y 9 de ellas destinadas al cultivo hidropónico. De las 9 parcelas de cada sistema de cultivo, 3 se destinaron al tratamiento T1 (agua marina desalinizada baja salinidad), 3 parcelas al tratamiento T2 (agua marina desalinizada moderada salinidad) y 3 parcelas al tratamiento T3 (agua marina desalinizada elevada salinidad). La distribución de dichas parcelas se realizó de forma aleatoria (Figura 2), manteniendo el mismo tratamiento en cada una de las parcelas en los dos ciclos de cultivo llevados a cabo.

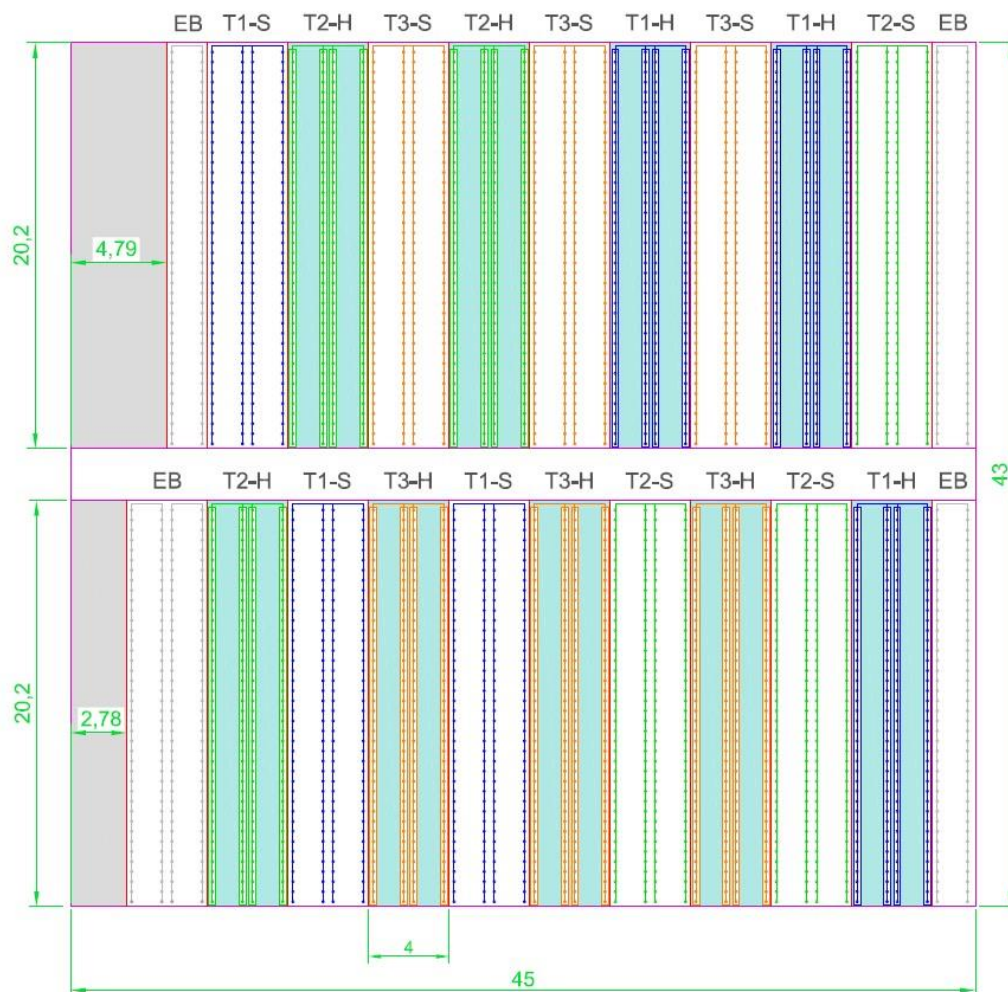


Figura 2. Distribución de las parcelas de ensayo (EB: Efecto borde; T1: Tratamiento con agua desalinizada; T2: Tratamiento CE media; T2: Tratamiento CE alta; S: Cultivo en suelo; H: Cultivo en hidropónico).

El primer ciclo de cultivo comenzó el 7 de septiembre del 2018 y terminó el 11 de febrero del 2019, mientras que el segundo ciclo de cultivo comenzó el 15 de marzo del 2019 y terminó el 4 de julio de 2019.



### **3.3. DISEÑO DE MUESTREO Y TOMA DE MUESTRAS**

#### **Diseño de muestreo de suelo**

Se realizaron tres muestreos de suelo por ciclo de cultivo, uno inicial, el cual se realizó durante la plantación, uno intermedio, que se realizó a los 75 días desde la plantación y uno final, que se realizó durante la recolección (Anejo 1).

Cada muestreo de suelo consistió en tomar tres submuestras en tres puntos distribuidos aleatoriamente en cada una de las parcelas de suelo. Estas submuestras fueron mezcladas y homogeneizadas para constituir una muestra compuesta representativa de cada una de las parcelas. Los muestreos se realizaron con barrena, a dos profundidades, de 0-15 cm y de 15-30 cm. Por lo que se tuvieron 3 réplicas por tratamiento, con 18 muestras de suelo recolectadas por muestreo, dando un total de 54 muestras de suelo por ciclo.

De igual modo, en la capa de suelo superficial, se tomó una muestra de suelo inalterado de cada una de las parcelas, para lo cual se utilizó un cilindro de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura, el cual fue introducido en el suelo para su extracción de forma inalterada (Anejo 1).

Indicar que antes del muestreo de suelo se retiró la capa de enarenado, característica del sistema de cultivo en suelo llevado a cabo en la zona de estudio, comenzado el muestreo en el suelo donde realmente se plantó el cultivo.

#### **Diseño de muestreo de planta**

Se realizaron dos muestreos de planta por ciclo de cultivo, el primero de ellos se realizó a los 75 días desde la plantación y el segundo durante la recolección. Ambos muestreos se realizaron tanto en plantas cultivadas en hidropónico como en suelo, y consistió en la recolección de entre 15-20 hojas tomadas de entre 8-12 plantas diferentes de cuatro líneas de cultivo distintas en cada parcela. Por lo tanto, cada muestra fue el resultado de mezclar las hojas recolectadas en cada una de las parcelas, con lo que se tuvieron 3 réplicas por tratamiento, 18 muestras por muestreo, y un total de 36 muestras por ciclo de cultivo.





## **Diseño de muestreo de agua**

Semanalmente se realizó un seguimiento de las características y de la concentración de macronutrientes del agua de riego, el cual se realizó mediante sondas portátiles. Los resultados obtenidos eran usados para ajustar la fertilización a los requerimientos del cultivo. Además, cada mes se realizaba un muestreo de agua de riego cuyos análisis se llevaba a cabo en el laboratorio. En los muestreos mensuales se utilizaban viales estériles de 500 mL, tomando el agua de riego directamente de los goteros, tanto en el cultivo hidropónico como en el cultivo en suelo.

## **3.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO**

### **3.4.1. Determinación de las propiedades fisicoquímicas y concentración de nutrientes del suelo**

Una vez las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio, se secaron en una estufa con ventilación forzada a 30°C durante 48-72h hasta peso constante, posteriormente fueron tamizadas con un tamiz de 2 mm de diámetro de luz, y una fracción de suelo fue molida durante 2-5 min. en mortero de ágata.

Los análisis físico-químicos realizados en las muestras de suelo fueron los siguientes:

- Acidez del suelo, pH del extracto 1:2,5 (Soil Survey Manual, 2017).
- Salinidad, conductividad eléctrica del extracto 1:5 (Andrades, 1996).
- Aniones solubles: sulfatos, cloruros, fosfatos y nitratos (Cromatografía iónica).
- Cationes solubles: calcio, magnesio, sodio y potasio (Cromatografía iónica).
- Capacidad de intercambio catiónico (Roig et al., 1980).
- Nitrógeno total (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Carbono orgánico (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Carbono inorgánico (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Potasio, calcio, magnesio y sodio asimilable (Roig et al., 1980).
- Fósforo asimilable (Diez, 1982).
- Hierro, manganeso, cobre y zinc asimilables (Lindsay y Norvell, 1978).
- Boro asimilable (Sims, 2009).
- Textura de suelo (F.A.O.-I.S.R.I.C., 2006).



Los análisis físicos realizados en las muestras de suelo fueron los siguientes:

- Densidad aparente (Campbell y Hensall, 1991).
- Densidad real (ASTM, 1958).
- Porosidad (Porta et al., 1999).
- Conductividad hidráulica (Hartmann, 2000).
- Agregados estables en agua (USDA, 1999).

### **3.4.2. Determinación de la concentración de nutrientes en planta**

Una vez las hojas fueron llevadas al laboratorio, cada una de ellas fue lavada con agua desionizada y secadas en estufa de aire forzado a 35°C durante 48-72h. Con el fin de determinar la humedad de cada muestra, ésta se pesó antes y después del secado. Posteriormente cada muestra fue triturada, mezclada y homogeneizada para su análisis.

Los análisis que se realizaron a las hojas fueron los siguientes:

- Macro y micronutrientes (Ca, Mg, K, Na, B, Fe, Mn, Cu y Zn), mediante digestión de la muestra con ácido concentrado en microondas, y posterior medición de su concentración con ICP-MS (USEPA, 1996).
- Cloruros solubles (Temminghoff y Houba, 2004).
- Nitrógeno total (Analizador Elemental, LECO CHNS).



## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. CARACTERÍSTICAS Y CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN EL AGUA DE RIEGO**

#### *Primer ciclo de cultivo (septiembre 2018-febrero 2019)*

En la figura 3 se muestra el pH, la salinidad (conductividad eléctrica), y la concentración de aniones y cationes en el agua de riego aplicado tanto al cultivo en suelo como en hidropónico en el primer ciclo de cultivo. Como se puede apreciar el pH es moderadamente ácido en los tres tratamientos (SSDS, 1993), con valores próximos a 6, y para los dos sistemas de cultivo, no observándose diferencias significativas entre ellos. Se recomienda que el agua de riego tenga un pH entre 6-7 para que no se presenten problemas de absorción de nutrientes en los cultivos, teniendo que realizar acciones correctoras cuando los valores se encuentren fuera de este rango.

De igual modo, se puede apreciar que la salinidad aumenta entre tratamientos, pasado de 2,3 dS/m en el T1, a 3 dS/m en el T2 y a 3,5 dS/m en el T3, tanto para cultivo en hidropónico como en suelo. Como era de esperar, este incremento de la salinidad se debe principalmente a la adición de cloruro sódico y sulfato magnésico, lo que produce un incremento en la concentración de cloruros, sulfatos, magnesio y sodio en el agua de riego, siguiendo la misma tendencia en los tres tratamientos (Figura 3). El resto de aniones y cationes solubles siguen tendencias diferentes respondiendo al programa de fertilización planificado. No obstante, se observan diferencias significativas entre el agua recibida por el cultivo en suelo y en hidropónico, aspecto que podría afectar a la absorción de nutrientes, por lo que se recomienda que este aspecto sea ajustado en los posteriores ciclos de cultivo.

Evaluando en detalle las concentraciones de los cationes y aniones solubles que podrían ser fitotóxicos, cloruros y sodio, se aprecia que para el tratamiento T1 los cloruros se encuentran ligeramente por encima de los límites que podrían ocasionar un riesgo para el cultivo, <140 mg/L, por su parte en el T2 alcanzan los 300 mg/L siendo un riesgo de toxicidad media, mientras que en el tratamiento T3 la concentración alcanzada es de 500 mg/L, muy superior a la concentración clasificada como elevada (> 350 mg/L) (Morris y Devitt, 1991). Se debe destacar que el tomate es un cultivo considerado como moderadamente sensible a la presencia de cloruros en el agua de riego, con un rango de



cloruros tolerable de entre 178-355 mg/L (ANZECC, 2000), por lo que concentraciones superiores pueden ocasionar daños en el mismo.

En el caso del sodio, para el tratamiento T1 su concentración (100 mg/L) se encuentra ligeramente por encima de los límites que podrían ocasionar un riesgo para el cultivo, <70 mg/L. Por su parte, el T2 alcanza los 200 mg/L siendo una concentración media, mientras que en el tratamiento T3 la concentración alcanza los 300 mg/L, muy superior a la concentración clasificada como elevada (> 210 mg/L) (Morris y Devitt, 1991).

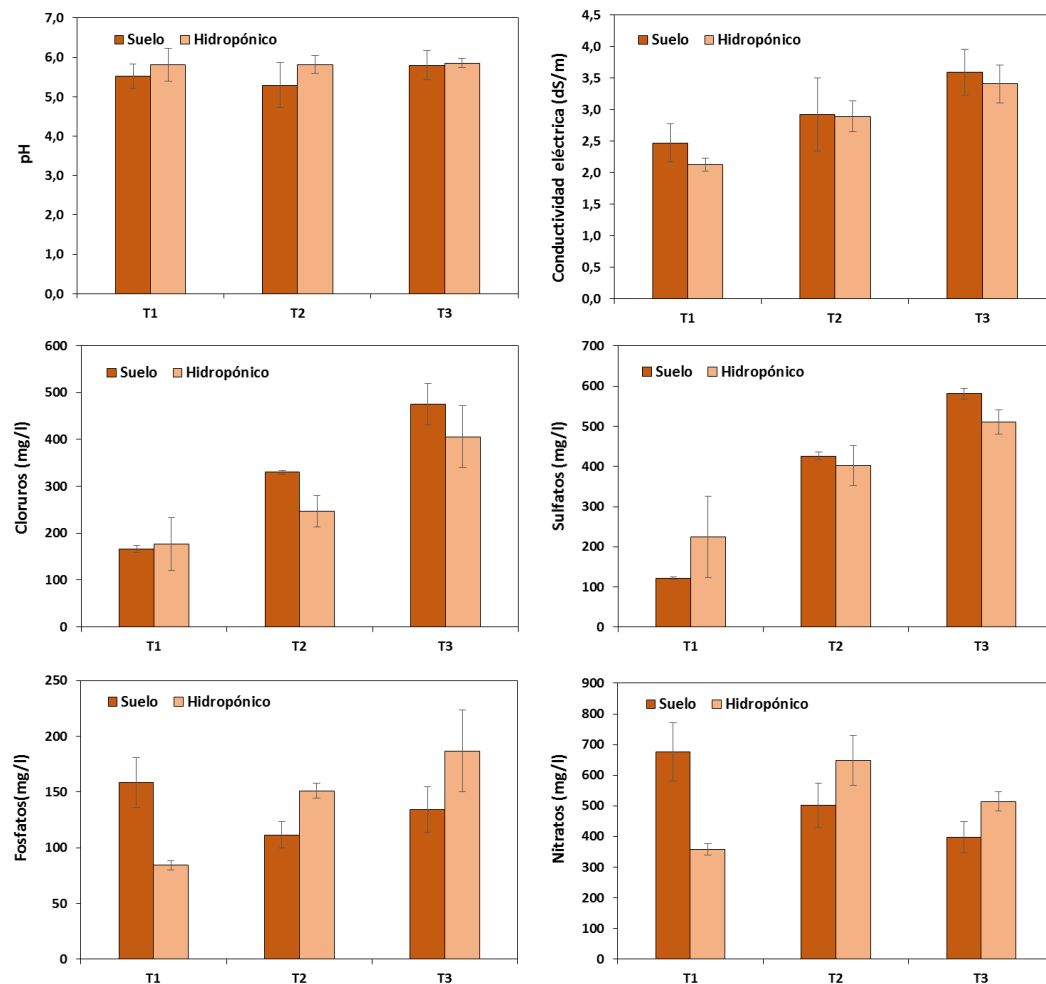


Figura 3. pH, CE y contenido en aniones y cationes en el agua de riego para cada tratamiento

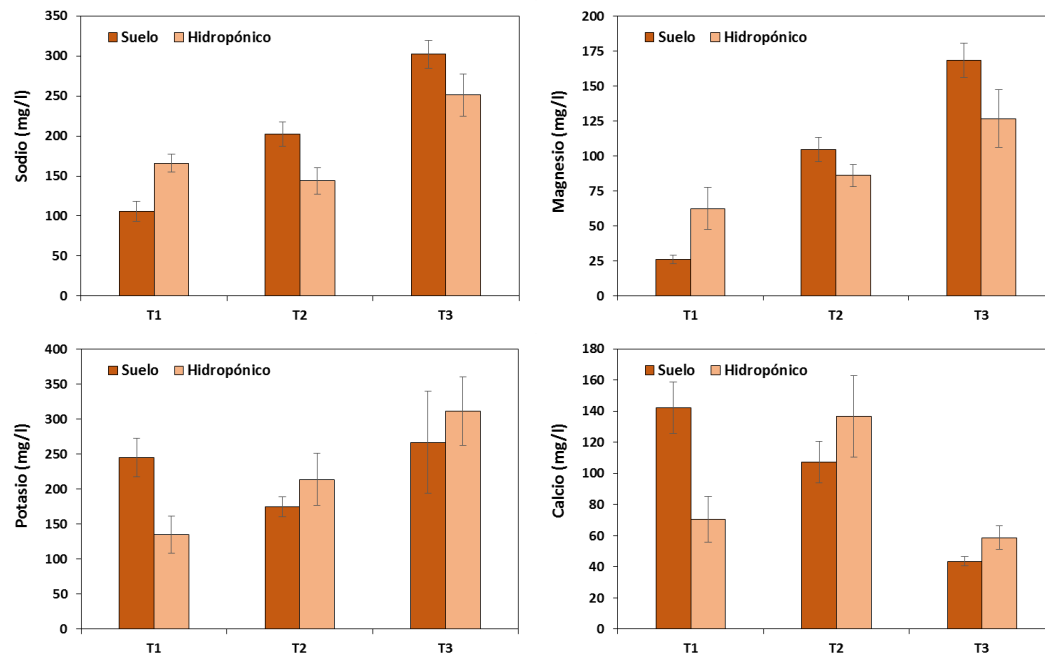


Figura 3. pH, CE y contenido en aniones y cationes...(Continuación)

En la figura 4 se muestra la concentración de boro en el agua de riego tanto en el cultivo en suelo como en hidropónico para el primer ciclo de cultivo. Como se puede apreciar su concentración está próxima a 1200  $\mu\text{g/l}$ , siendo ésta constante tanto en los tres tratamientos como en el cultivo hidropónico y en suelo. En la bibliografía consultada, los límites de toxicidad varían según los autores, de este modo Mass (1984) indica que el tomate es un cultivo sensible al boro cuyo rango óptimo estaría entre 0,5-0,75 mg/L, por lo que la concentración aplicada podría ocasionar daños al cultivo. Sin embargo, Eaton (1935) clasifican al tomate como un cultivo semitolerante (1,25-2,5 mg/L), mientras que Muñoz et al. (2002) lo clasifican como moderadamente tolerante (1-2,05 mg/L). En este caso, debido a que no se han observado síntomas de toxicidad por este elemento en el cultivo, se podría considerar que el tomate es un cultivo semitolerante a la concentración de boro en el agua de riego.



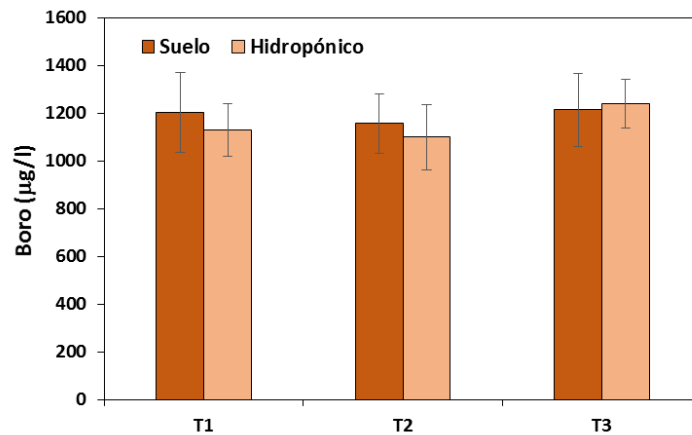


Figura 4. Contenido en boro en el agua de riego para cada tratamiento

En la figura 5 se muestra la concentración de micronutrientes en el agua de riego aplicado tanto al cultivo en suelo como en hidropónico para el primer ciclo de cultivo. Como se puede apreciar existen diferencias significativas tanto entre tratamientos como entre el agua aplicada en suelo y la aplicada en hidropónico, lo que podría afectar a la absorción de estos nutrientes por el cultivo, respondiendo al programa de fertirrigación llevado a cabo. Nuevamente indicar que sería recomendable ajustar la fertilización para que ambos sistemas recibieran la misma cantidad de micronutrientes. En el caso del suelo, el T1 aporta más micronutrientes que en T2 y T3, cuyas concentraciones son semejantes en estos dos últimos tratamientos. En el caso del hidropónico sucede al contrario, en el T1 se aporta menos micronutrientes que en T2 y T3, cuyas concentraciones son semejantes, a excepción del Mn donde el T1 y T2 aportan la misma cantidad, siendo ligeramente superior en el T3.

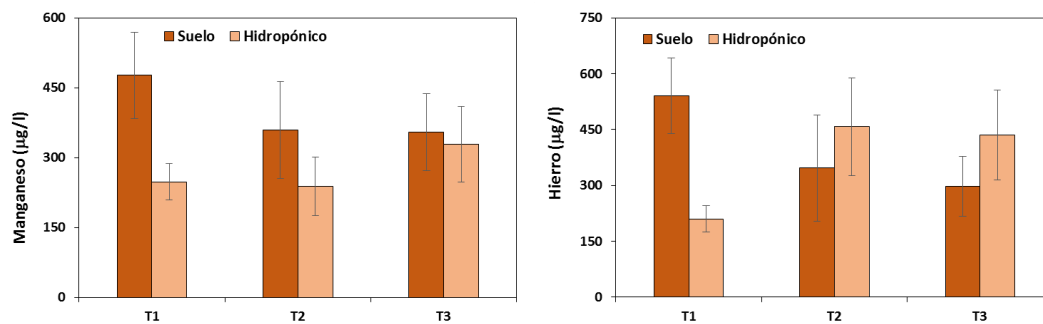


Figura 5. Contenido en micronutrientes en el agua de riego para cada tratamiento

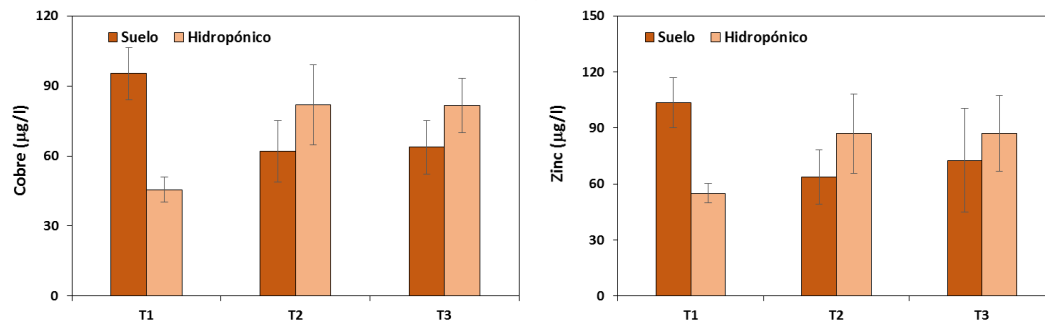


Figura 5. Contenido en micronutrientes en el agua.....(continuación))

### Segundo ciclo de cultivo (marzo 2019-julio 2019)

En la figura 6 se muestra el pH, la salinidad (conductividad eléctrica), y la concentración de aniones y cationes en el agua de riego aplicado tanto al cultivo en suelo como hidropónico en el segundo ciclo de cultivo. Al igual que en el primer ciclo, el pH es moderadamente ácido en los tres tratamientos y para los dos sistemas de cultivo (SSDS, 1993), con valores próximos a 6, no observándose diferencias significativas entre ellos.

Por su parte, la salinidad aumenta entre tratamientos, pasado de 1,75 dS/m en el T1, a 2,5 dS/m en el T2 y a 3 dS/m en el T3 tanto para cultivo en hidropónico como en suelo. Al igual que en el ciclo anterior, este incremento en la salinidad se debe principalmente al aporte de cloruro sódico y sulfato magnésico, que como consecuencia produce un incremento en la concentración de cloruros, sulfatos, magnesio y sodio en el agua de riego, siguiendo la misma tendencia a incrementarse con los tratamientos (Figura 6).

En el caso de los fosfatos, también se observa un incremento entre los tratamientos, aunque este es menos acusado que el observado en los elementos comentados anteriormente. El resto de aniones y cationes solubles siguen tendencias diferentes respondiendo al programa de fertilización planificado, no obstante, sería recomendable que la concentración de nitratos y potasio en el T3 se incrementara ligeramente con el fin de obtener una tendencia creciente en la concentración de este compuesto y, de este modo, ver su efecto en el cultivo. Destacar que al contrario que en el 1º ciclo, en este caso no se observan diferencias significativas entre el agua recibida por el cultivo en suelo y en hidropónico, por lo que el sistema de fertirrigación ha sido ajustado respecto al 1º ciclo.

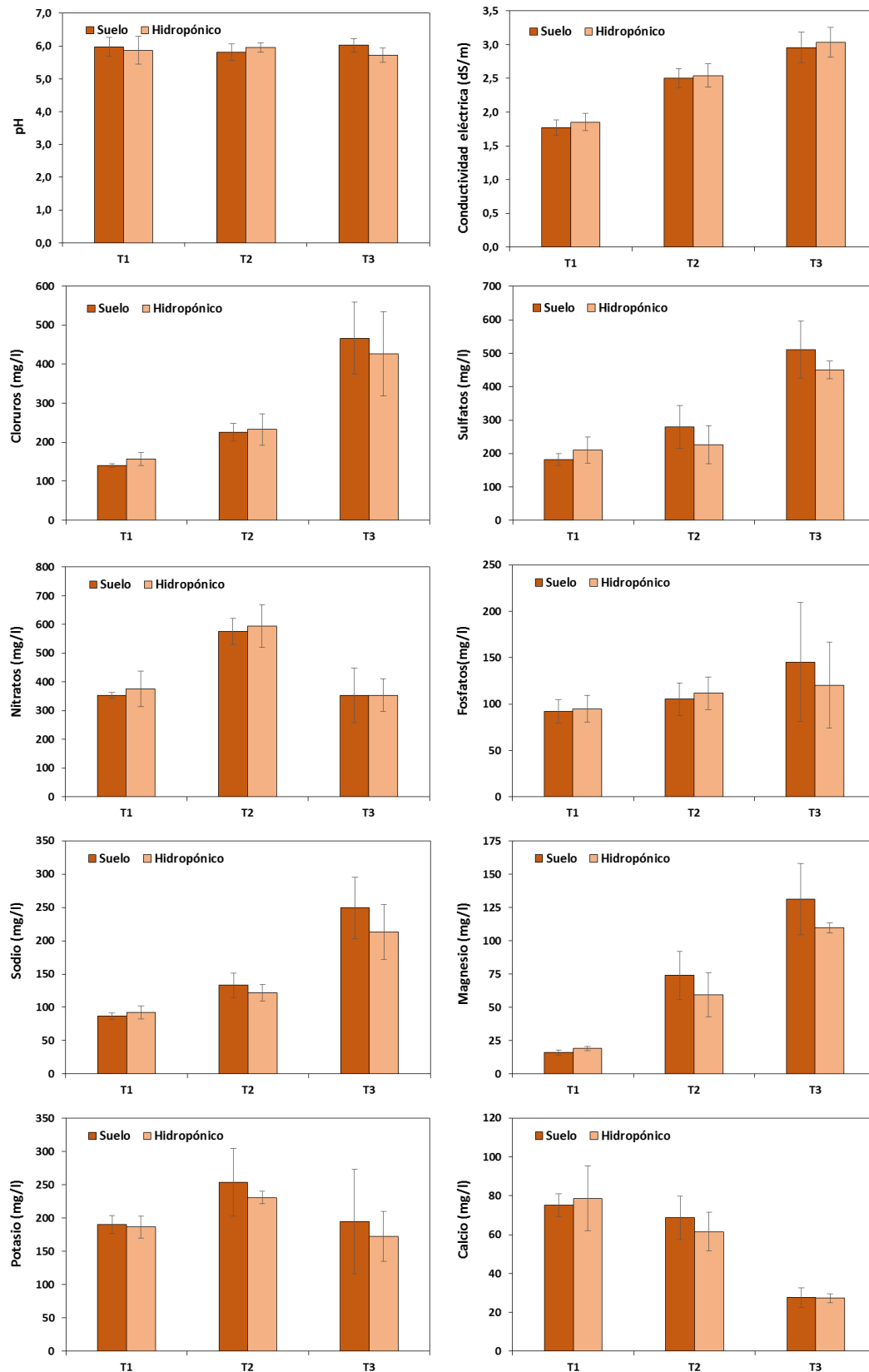
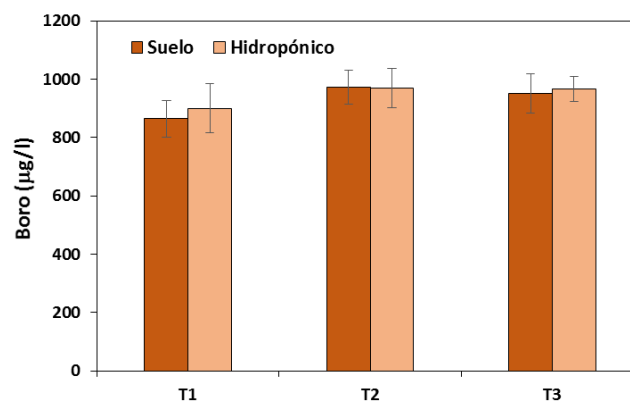


Figura 6. pH, CE y contenido en aniones y cationes...(continuación)



En relación a las concentraciones de los cationes y aniones solubles que podrían ser fitotóxicos, como es el caso de los cloruros y el sodio, destacar que para el tratamiento T1 los cloruros se encuentran por debajo de los límites que podrían ocasionar un riesgo para el cultivo, <140 mg/L, por su parte en el T2 alcanzan los 250 mg/L, considerada una concentración que podría ocasionar un riesgo de toxicidad media, mientras que en el tratamiento T3 la concentración alcanza los 500 mg/L, muy superior a la concentración clasificada como elevada (> 350 mg/L) (Morris y Devitt, 1991). En el caso del sodio, para el tratamiento T1 su concentración (100 mg/L) se encuentra ligeramente por encima de los límites que podrían ocasionar un riesgo para el cultivo, <70 mg/L. Por su parte, en el tratamiento T2 se alcanzan los 150 mg/L, siendo su concentración catalogada como media, mientras que en el tratamiento T3 la concentración alcanza los 250 mg/L, ligeramente superior a la concentración clasificada como elevada (> 210 mg/L) (Morris y Devitt, 1991).

En la figura 7 se muestra la concentración de boro en el agua de riego aplicado tanto al cultivo en suelo como en hidropónico para el segundo ciclo de cultivo. Como se puede apreciar, su concentración es ligeramente inferior a la aplicada en el primer ciclo, estando próxima a 1000 µg/l, siendo ésta constante tanto en los tres tratamientos como en el cultivo en hidropónico y en suelo. Como se ha visto anteriormente, el tomate se considera un cultivo semitolerante a la presencia de boro en el agua de riego, por lo que no se espera que se produzcan problemas de toxicidad por este elemento a las concentraciones aplicadas en este ciclo de cultivo.



**Figura 7.** Contenido en boro en el agua de riego para cada tratamiento



En la figura 8 se muestra la concentración de micronutrientes en el agua de riego aplicado tanto al cultivo en suelo como en hidropónico en el segundo ciclo de cultivo. Como se puede apreciar existen variaciones significativas entre tratamientos, donde las mayores concentraciones aplicadas han sido en el tratamiento T2, aspecto que debería ser corregido en los ciclos posteriores, ya que todos los tratamientos deberían recibir la misma cantidad de micronutrientes. No obstante, al contrario que en el ciclo anterior, no se han observado diferencias entre los sistemas de cultivo, es decir, las plantas tanto cultivadas en suelo como en hidropónico han recibido la misma cantidad de nutrientes, lo cual nos permite hacer una comparación más objetiva de la absorción de estos por el cultivo.

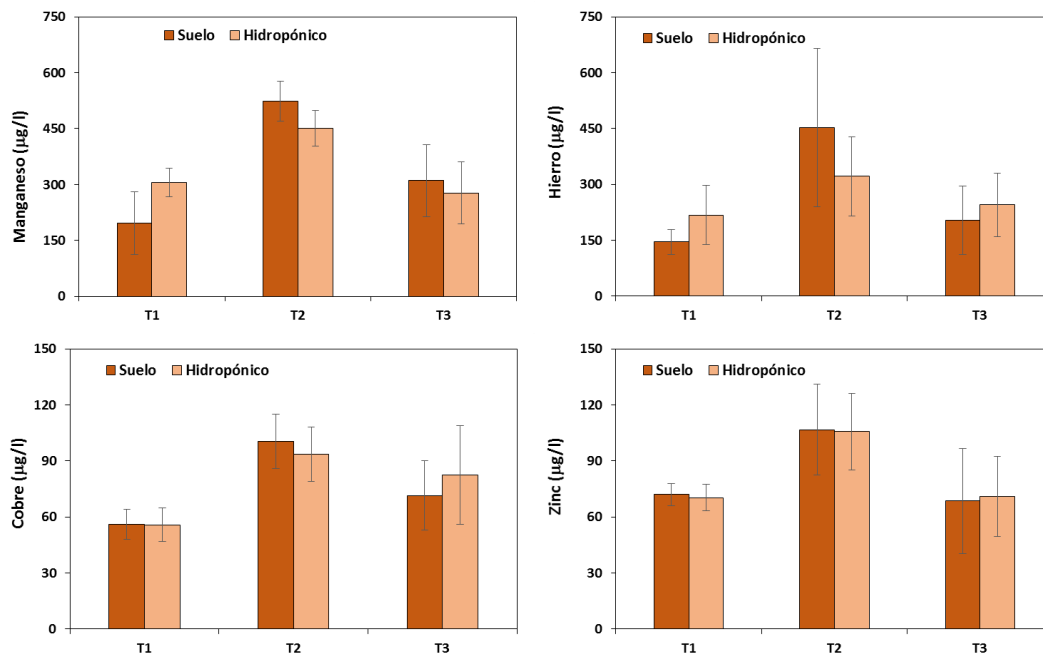


Figura 8. Contenido en micronutrientes en el agua de riego para cada tratamiento

## 4.2. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y CONSTITUYENTES DEL SUELO

### *Primer ciclo de cultivo (septiembre 2018-febrero 2019)*

En la figura 9 se presentan los resultados de las propiedades y constituyentes del suelo en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el primer ciclo de cultivo. Como se puede apreciar, los suelos del invernadero son básicos, con un pH próximo a 8 (Porta et al., 1999), donde no se aprecian diferencias entre tratamientos.





En general, el pH óptimo de los suelos para el cultivo de tomate estaría entre 6-6,5, de este modo la planta se desarrollará y dispondrá de nutrientes adecuadamente, sin embargo el tomate es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de pH (Rodríguez et al., 2019), observándose altos rendimientos a pH superiores. La importancia del pH radica en que afecta la disponibilidad de nutrientes y, por lo tanto, su absorción por el cultivo, siendo un factor que debe de ser monitorizado para su posible corrección si fuese necesario (Torres, 2017).

Por su parte, el contenido en carbono inorgánico, principalmente en forma de carbonatos, alcanza valores próximos al 3%, lo que equivale a un porcentaje de carbonatos del 25%, lo que es calificado como alto (Urbano, 2001), siendo uno de los responsables del nivel de pH observado en los suelos de estudio. En este caso, tampoco se observan diferencias significativas entre tratamientos, ni variaciones relevantes durante el ciclo de cultivo.

Respecto al contenido en carbono orgánico, este es superior en superficie que en profundidad en los distintos tratamientos, con valores medios cercanos a 0,8 % en superficie y a 0,5 % en profundidad, en ambos casos se considera un contenido bajo de carbono orgánico (Porta et al., 1999). De igual modo, no se observa que el tipo de agua usada afecte al contenido y evolución de este constituyente del suelo, cuyas variaciones se deben a la misma heterogeneidad del suelo.

Del mismo modo que en el caso de las propiedades y constituyentes comentados anteriormente, tanto la capacidad de intercambio catiónico (CIC) como la textura de los suelos (Figura 9), representada por los porcentajes de arcilla, limo y arena, no se ve afectada por el tratamiento, variando la CIC desde muy baja (<10 meq/100g) a baja (10-15 meq/100g) en las parcelas de estudio (Thiagalingam, 2000), y presentando una textura areno-francosa en las parcelas T1 y T3, siendo franco-arenosa en las parcelas T2 (FAO, 2006). A pesar de estas ligeras variaciones, los tomates se pueden cultivar en un amplio rango de texturas de suelos, desde suelos ligeros o arenosos a suelos pesados o arcillosos.

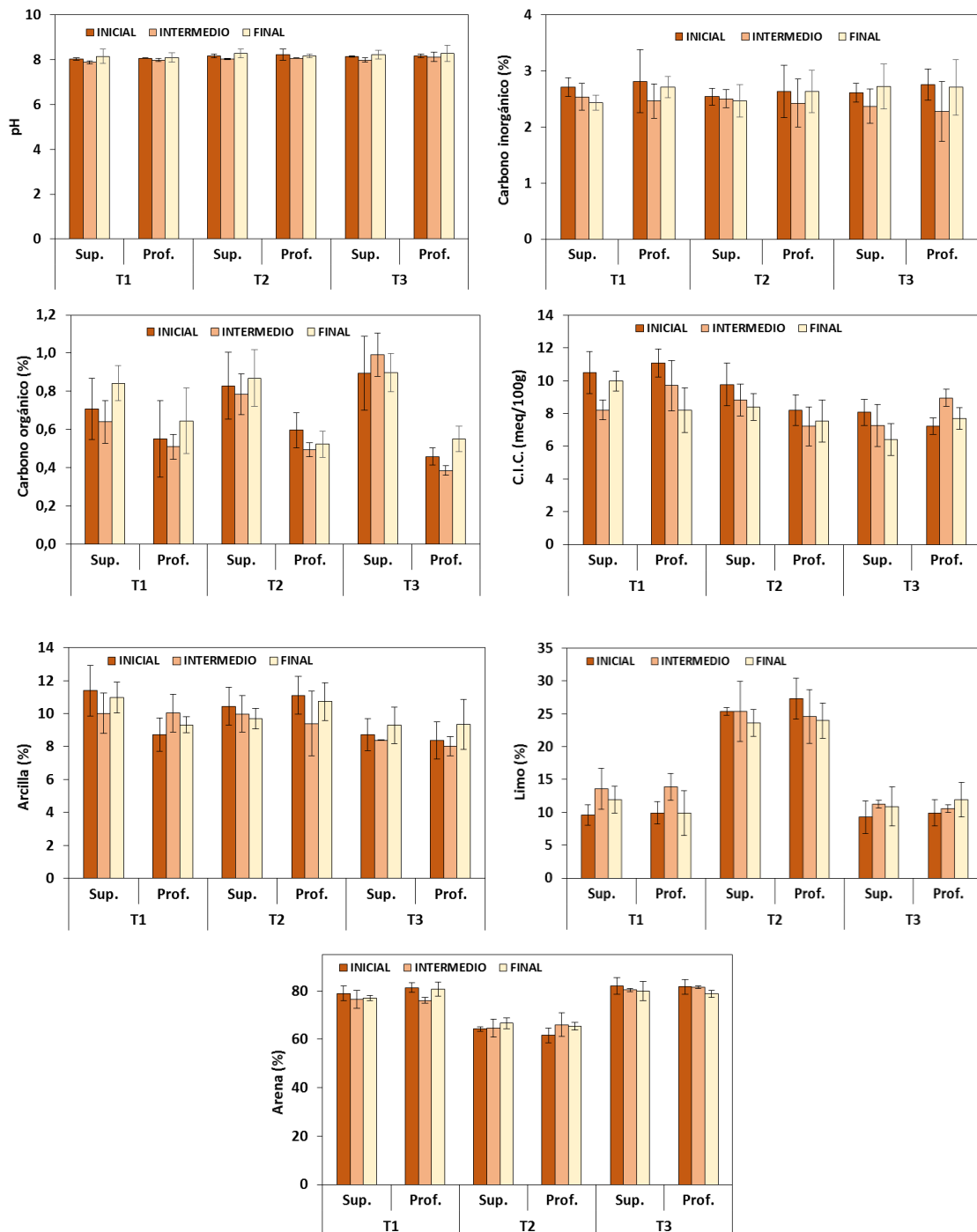


Figura 9. Evolución de las propiedades y constituyentes en los suelos de los tres tratamientos

### Segundo ciclo de cultivo (marzo 2019-julio 2019)

En la figura 10 se presentan los resultados de las propiedades y constituyentes del suelo en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Como era de esperar, el pH de los suelos del invernadero no han

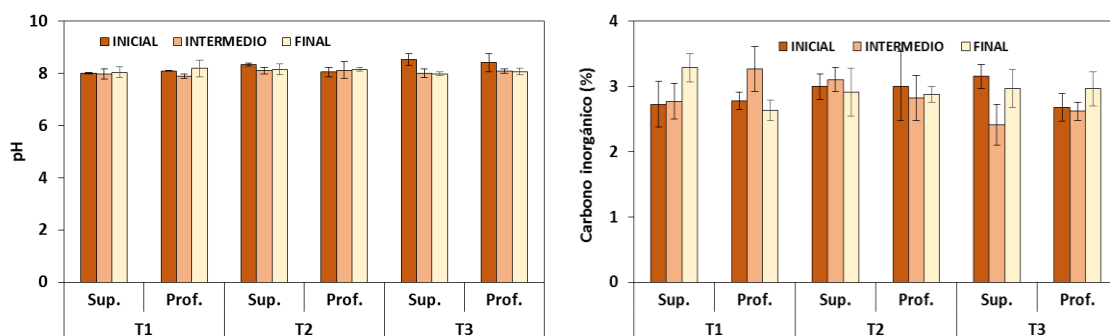


cambiado desde el ciclo anterior, siendo estos básicos, con un pH próximo a 8 (Porta et al., 1999), donde no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, ni variaciones a lo largo del ciclo.

De igual modo, el contenido en carbono inorgánico, principalmente en forma de carbonatos, es semejante al ciclo anterior, alcanzando valores próximos al 3%, lo que equivale a un porcentaje de carbonatos del 25%, calificado como alto (Urbano, 2001), en este caso tampoco se observan diferencias significativas entre tratamientos, siendo las variaciones observadas propias de la heterogeneidad del suelo.

Nuevamente, se observa que el contenido en carbono orgánico es superior en superficie que en profundidad en los distintos tratamientos, con valores medios cercanos a 0,8 % en superficie y a 0,4 % en profundidad, en ambos casos se considera un contenido bajo de carbono orgánico (Porta et al., 1999). De igual modo, no se observa que el tipo de agua usada afecte al contenido de este constituyente de suelo, cuyas variaciones se deben a la misma heterogeneidad del suelo.

Tal y como se observó en el ciclo anterior, tanto la capacidad de intercambio catiónico (CIC) como la textura de los suelos, no se ve afectada por el tratamiento, siendo la CIC catalogada como muy baja (<10 meq/100g) a baja (10-15 meq/100g) en las parcelas de estudio (Thiagalingam, 2000), y presentando una textura areno-francosa en las parcelas de los tratamientos T1 y T3, siendo franco-arenosa en las parcelas del tratamiento T2 (FAO, 2006).



**Figura 10.** Evolución de las propiedades y constituyentes en los suelos de los tres tratamientos

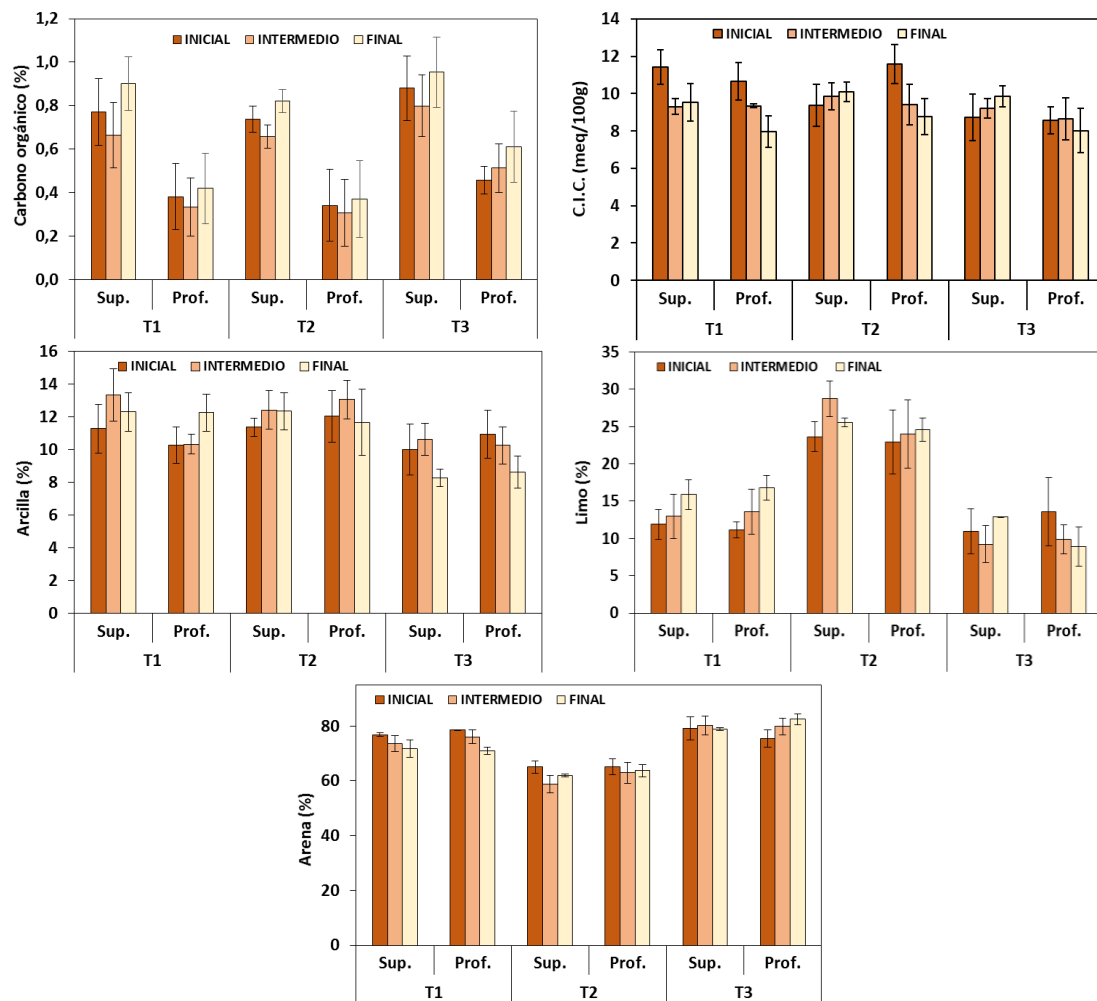


Figura 10. Evolución de las propiedades y constituyentes...(continuación)

### 4.3. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO EN LA CONCENTRACIÓN DE MACRONUTRIENTES DEL SUELO

#### Primer ciclo de cultivo (septiembre 2018-febrero 2019)

En la figura 11 se presentan los resultados de las concentraciones de macronutrientes (n, p, k, Ca, Mg y Na) del suelo en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el primer ciclo de cultivo. Comenzando con el contenido en nitrógeno total (NT), este varía desde un nivel medio, 0,6 g/kg, al inicio del cultivo hasta bajo, 0,4 g/kg, al final del ciclo (Urbano, 2001). Al igual que el carbono orgánico, el NT es ligeramente inferior en profundidad que en superficie. Respecto a su variación durante el ciclo de cultivo, se observa una ligera disminución con el tiempo en todos los tratamientos en superficie, lo que puede ser debido tanto al consumo de



compuestos nitrogenados por el cultivo como a la lixiviación de los más lábiles a capas más profundas de suelo. No observándose diferencias significativas en el comportamiento de este constituyente del suelo entre los tratamientos aplicados.

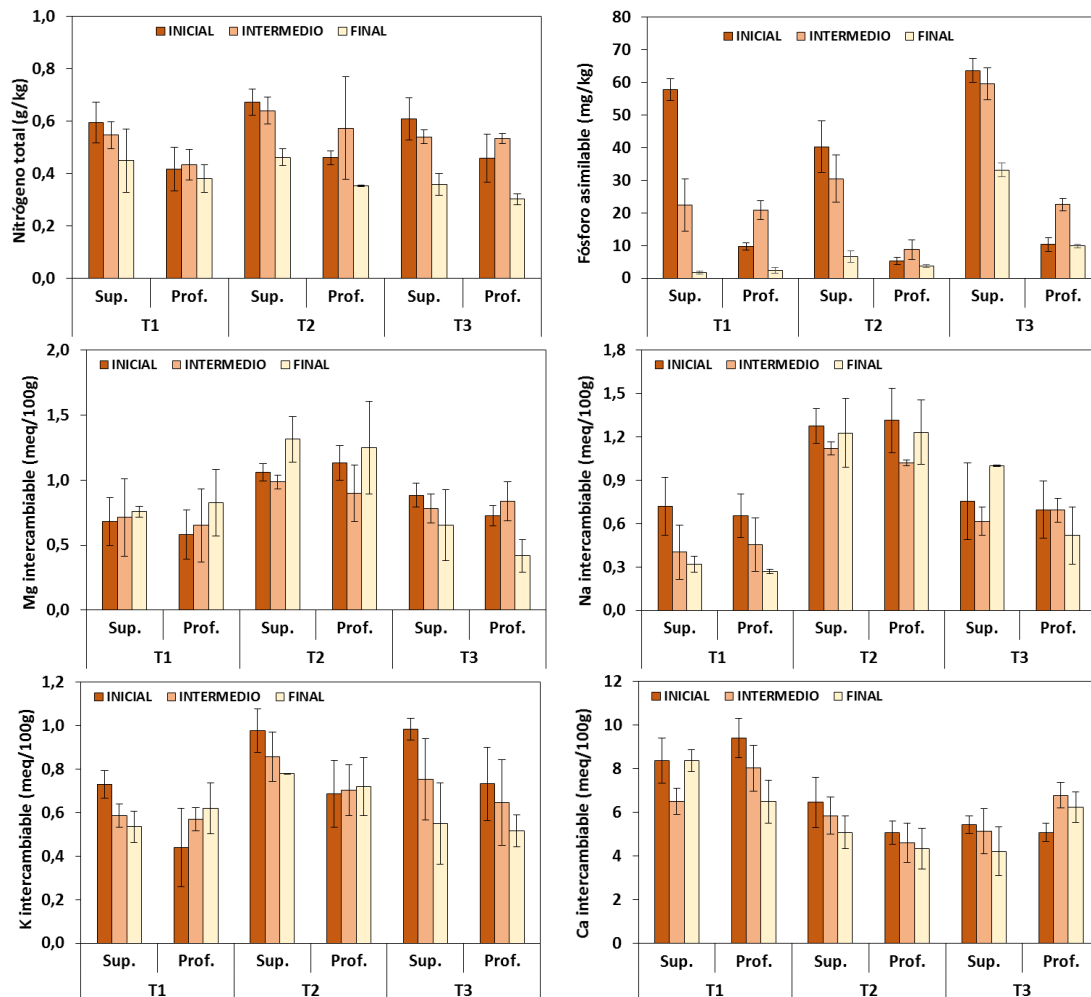


Figura 11. Evolución de las concentraciones de macronutrientes en los suelos de los tres tratamientos

En relación al fósforo disponible en el suelo, este es muy superior en superficie que en profundidad, especialmente al inicio del cultivo, con valores catalogados como medios en las parcelas T1 y T3 (aprox. 60 mg/kg), y bajos en la T2 (aprox. 40 mg/kg) en superficie, y muy bajos en profundidad en los tres tratamientos (10-20 mg/kg) (Porta et al., 1999), esto es debido a que el fósforo es un elemento poco móvil en los suelos quedando retenido en la capa superior de los mismos (Torres, 2017). De igual modo, se puede apreciar una disminución muy acusada en las muestras superficiales a lo largo del ciclo de cultivo en los tres tratamientos. No obstante, se observa que este efecto es





especialmente relevante en el tratamiento T1, mientras que en el tratamiento T2 es menos acusado y el T3 aún menor. Estos resultados podrían indicar que el fósforo se está reteniendo con mayor intensidad en las parcelas regadas con baja salinidad (T1), mientras que el incremento en la salinidad del suelo favorecería la disponibilidad de este elemento.

En relación a los cationes retenidos en el complejo de cambio (Na, Mg, Ca y K), se puede observar que, a pesar de aportarse concentraciones crecientes de Mg con el agua de riego, no se observan incrementos significativos en los distintos tratamientos, variando sus concentraciones entre 0,5 a 1,5 meq/100g, siendo en todos los casos catalogadas como concentraciones medias (Horneck et al., 2011) y adecuadas para el cultivo.

En el caso del sodio, donde también se aportaron concentraciones crecientes con el agua de riego, su comportamiento es ligeramente diferente entre tratamientos, en el tratamiento T2 no se observan diferencias durante el ciclo de cultivo, mientras que en el T1 se aprecia una disminución, y en el T3 un ligero aumento al final del ciclo de cultivo, en cualquier caso sus concentraciones van de medias en la parcela T1, ligeramente altas en la T3 y altas en la T2 (Thiagalingam, 2000).

En relación al potasio intercambiable, este tiende a disminuir durante el ciclo en las muestras superficiales de los tres tratamientos, posiblemente debido a la absorción por la planta, no observándose diferencias en su comportamiento entre tratamientos, siendo sus concentraciones altas (Horneck et al., 2011).

Finalmente, en el caso del Ca, su concentración en las parcelas de estudio es medio (Thiagalingam, 2000), observándose una ligera disminución de su concentración a lo largo del ciclo en los tratamientos T2 y T3, mientras que el tratamiento T1 se mantiene constante en superficie, lo cual es debido al mayor aporte de este elemento por el agua de riego en este tratamiento.

### *Segundo ciclo de cultivo (marzo 2019-julio 2019)*

En la figura 12 se presentan los resultados de las concentraciones de macronutrientes del suelo en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Comenzando con el contenido en nitrógeno total (NT), este presenta una concentración media, 0,6-0,8 g/kg, en superficie, y baja, 0,4 g/kg, en profundidad (Urbano, 2001). Al contrario que sucedía en el 1º ciclo, no se observan variaciones a lo largo de ciclo de cultivo para ninguno de los tratamientos, lo



que indica que las reservas de este elemento se mantienen constantes y los aportes realizados o bien han sido tomados por el cultivo o se han lixiviado a capas más profundas que las muestreadas. De igual modo, no se observan diferencias entre tratamientos.

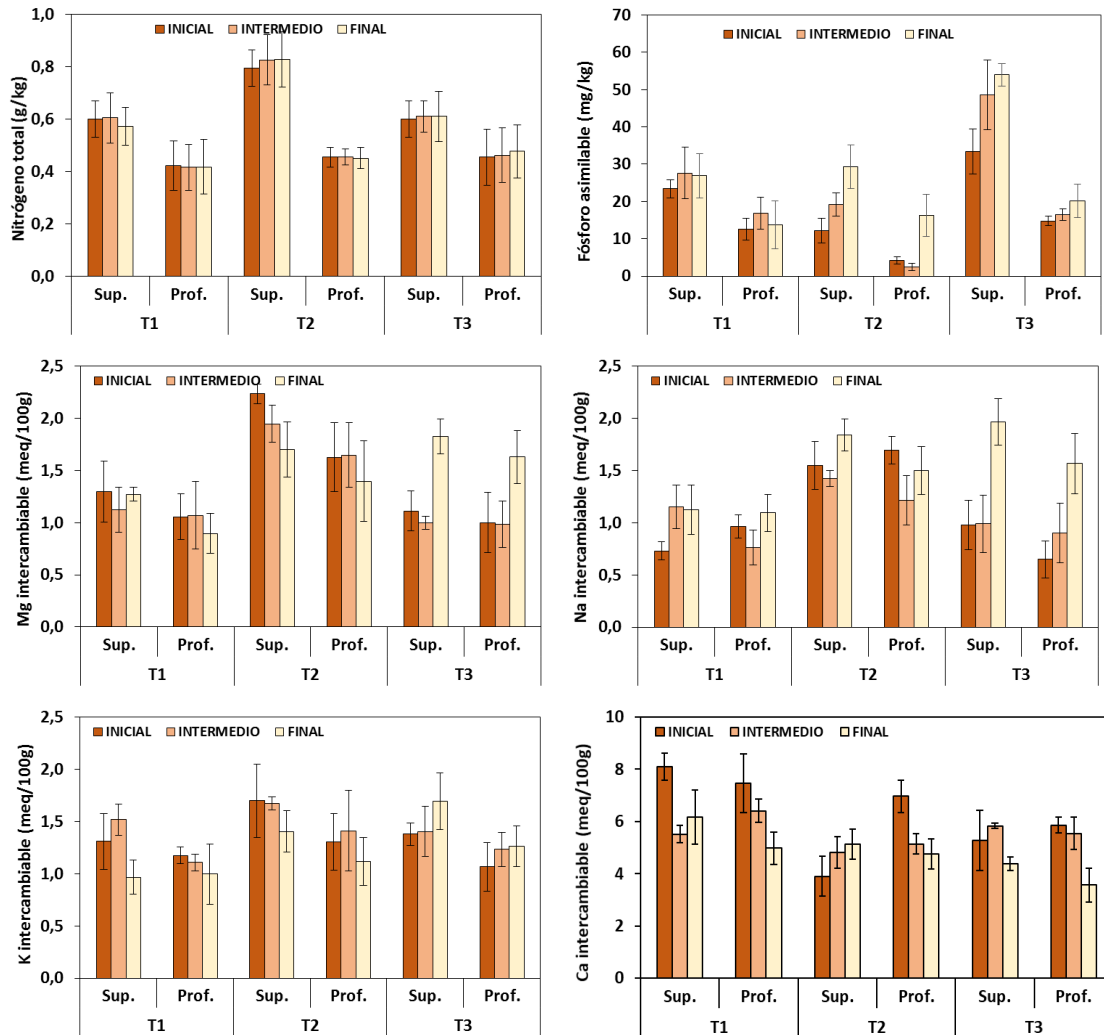


Figura 12. Evolución de las concentraciones de macronutrientes en los suelos de los tres tratamientos

En relación al fósforo asimilable en el suelo, al igual que en el ciclo anterior, este es superior en superficie que en profundidad, pero de una forma menos acusada que la observada en el 1º ciclo, presentando menores concentraciones en los tratamientos T1 y T2 tanto en superficie como en profundidad (10- 30 mg/kg), catalogadas como bajas, mientras que el tratamiento T3 serían medias en superficie (aprox. 50 mg/kg) y bajas en profundidad (20 mg/kg) (Porta et al., 1999). En este caso, las concentraciones de fósforo en el tratamiento T1 se mantienen constantes, mientras que en los tratamientos T2 y T3



se incrementan, por lo que nuevamente la biodisponibilidad de este elemento se ve favorecida por el incremento de la salinidad, produciéndose una acumulación en el suelo de la fracción biodisponible de fósforo, aspecto positivo ya que las concentraciones iniciales eran bajas. Por lo tanto, estos resultados indicarían que un incremento en la salinidad de los suelos podría ser la responsable de un incremento en la concentración biodisponible de este elemento.

En relación a los cationes retenidos en el complejo de cambio (Na, Mg, Ca y K), en el caso del magnesio no se observan incrementos significativos en los tratamientos T1 y T2, incluso se observa una ligera disminución en superficie del T2, variando sus concentraciones entre 1 a 2,5 meq/100g, siendo en todos los casos catalogadas como concentraciones ligeramente altas para el cultivo (Horneck et al., 2011). Por el contrario, en el tratamiento T3 se observa un incremento significativo tanto en superficie como en profundidad en el muestreo final, alcanzado valores cercanos a 2 mg/kg, siendo estos catalogados como altas, este incremento es consecuencia de la elevada concentración de magnesio aportada en el agua de riego en este tratamiento.

En el caso del sodio, donde también se aportaron concentraciones crecientes con el agua de riego, y de una forma más significativa que en el 1º ciclo de cultivo, se observaron incrementos en los tres tratamientos, siendo más acusados en el T3 tanto en superficie como en profundidad, lo cual está estrechamente relacionado con las altas concentraciones aportadas con el agua de riego, cuyas concentraciones fueron altas (Thiagalingam, 2000).

En relación al potasio intercambiable, este tiende a disminuir durante el ciclo en las muestras superficiales de los tratamientos T1 y T2, posiblemente absorbido por la planta, no observándose diferencias significativas entre tratamientos, siendo sus concentraciones altas (Horneck et al., 2011).

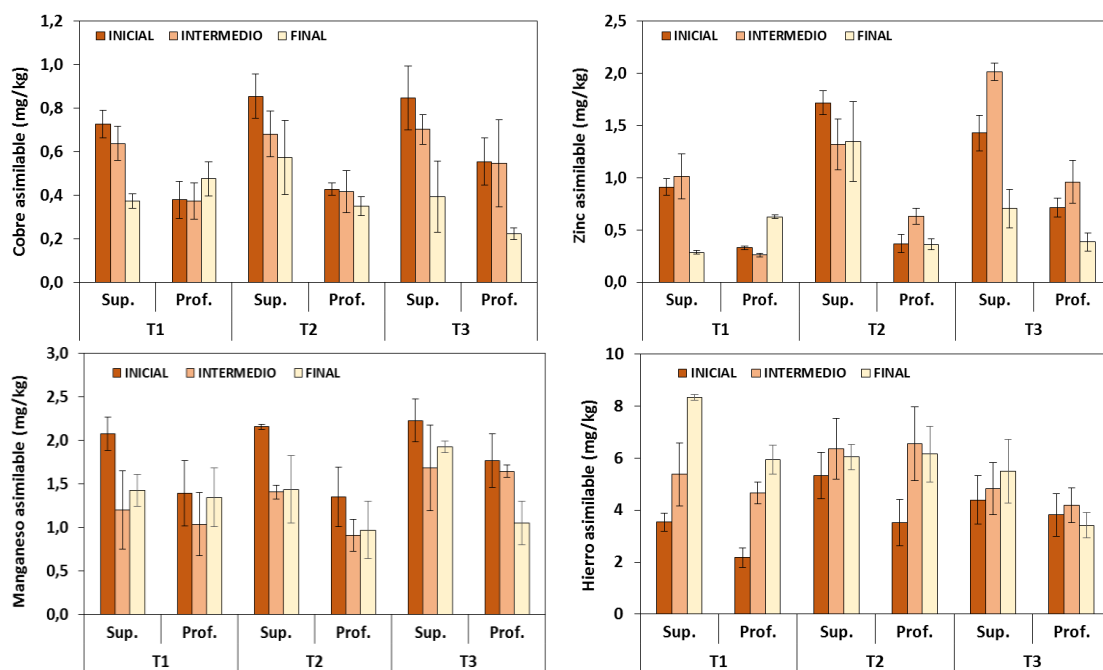
Finalmente, en el caso del Ca, su concentración en las parcelas de estudio es medio (2-10 meq/100g) (Thiagalingam, 2000), observándose una disminución de su concentración a lo largo del ciclo en el tratamiento T1 y T3 tanto en superficie como en profundidad, manteniéndose constante en el tratamiento T2 en superficie y disminuyendo en profundidad. Estas variaciones son debidas a la competencia por los lugares de cambio con el resto de cationes aportados con el agua de riego (Mg, Na y K), cuyas concentraciones han sido altas en la mayor parte de los casos.



#### 4.4. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO EN LA CONCENTRACIÓN DE MICRONUTRIENTES DEL SUELO

##### *Primer ciclo de cultivo (septiembre 2018-febrero 2019)*

En la figura 13 se presentan los resultados de las concentraciones de micronutrientes biodisponibles en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el primer ciclo de cultivo. En todos los casos (Fe, Mn, Cu y Zn) se observa una menor concentración en profundidad que en superficie, siendo esta más acusada en el caso del zinc y cobre. Las concentraciones de zinc serían adecuadas en superficie (1-2 mg/kg) y bajas en profundidad (<1 mg/kg) (Thiagalingam, 2000), mientras que en el caso del cobre serían bajas en profundidad (<0,6 mg/kg) y medias en superficie (0,6-1 mg/kg), por lo que se necesitaría un aporte extra de este elemento para alcanzar al menos los 2 mg/kg a partir del cual serían concentraciones adecuadas (Thiagalingam, 2000). Por su parte, las concentraciones de manganeso (entre 1-2 mg/kg), serían bajas y deberían incrementarse ligeramente para que el cultivo no presente deficiencias de este elemento (Thiagalingam, 2000). Finalmente, las concentraciones de hierro serían adecuadas (2,5-5 mg/kg) e incluso ligeramente elevadas en algunos casos (>5 mg/kg).



**Figura 13.** Evolución de las concentraciones de micronutrientes en los suelos de los tres tratamientos



Destacar que para el Zn, Cu y Mn se observa una disminución en su concentración a lo largo del ciclo de cultivo, debido probablemente al consumo de este elemento por el mismo, tendencia contraria a la observada con el hierro donde se produce un incremento en la biodisponibilidad de este elemento al final del ciclo. No obstante, no se observan diferencias en el comportamiento de estos elementos entre tratamientos.

### Segundo ciclo de cultivo (marzo 2019-julio 2019)

En la figura 14 se presentan los resultados de las concentraciones de micronutrientes asimilables en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Al igual que en el primer ciclo de cultivo, para Mn, Cu y Zn se observa una menor concentración en profundidad que en superficie, por el contrario, la concentración de hierro es semejante tanto en superficie como en profundidad, lo que indica una distribución más homogénea de este elemento en el suelo.

En cuanto a su evolución a lo largo del ciclo, se observa que Cu y Zn tienen un comportamiento semejante, aumentando sus concentraciones asimilables durante el ciclo en los tres tratamientos, siendo este incremento más acusado en el T3, lo que podría indicar que un incremento de la salinidad movilizaría una mayor cantidad de estos elementos en el suelo, probablemente debido a la competencia por los lugares de cambio o bien por su asociación a aniones solubles (Acosta et al., 2011).

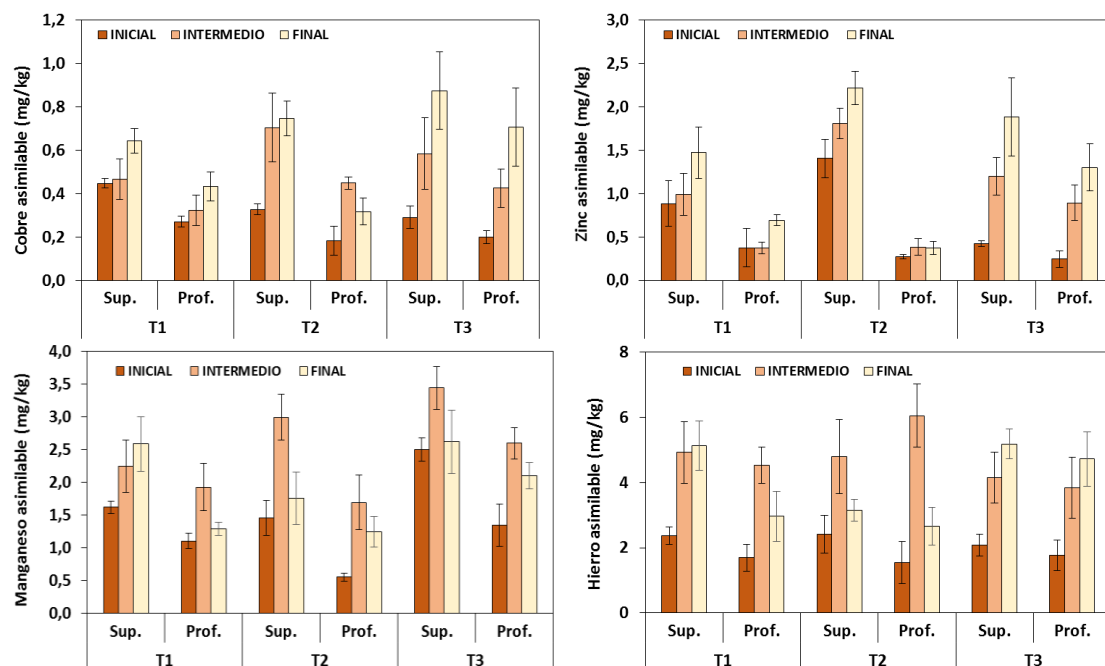


Figura 14. Evolución de las concentraciones de micronutrientes en los suelos de los tres tratamientos



Por su parte, Mn y Fe muestran el mismo patrón a lo largo del ciclo de cultivo, aumentando en el tratamiento T1 a lo largo del ciclo, mientras que se produce un incremento a mitad de ciclo en el tratamiento T2 y T3, indicando una acumulación de estos elementos en el suelo aportados en la fertirrigación, para disminuir al final del mismo, a excepción del T3 en el caso del Fe donde se observa un incremento sostenido de su concentración durante el ciclo de cultivo, sugiriendo que un incremento en la salinidad del suelo podría estar promoviendo la biodisponibilidad de este elemento.

Finalmente, indicar que las concentraciones de zinc serían adecuadas en superficie (1-2 mg/kg) y bajas en profundidad (<1 mg/kg) en los tratamientos T1 y T2 (Thiagalingam, 2000), mientras que en el tratamiento T3 serían adecuadas a partir del segundo muestreo tanto en superficie como en profundidad, siendo bajas al principio del ciclo. En el caso del cobre, sus concentraciones serían bajas (<0,6 mg/kg) tanto en superficie como en profundidad en los dos primeros muestreos, siendo medias en el tercero de ellos en los tres tratamientos (0,6-1 mg/kg), estos resultados sugieren que al igual que en el 1º ciclo, se necesitaría un aporte extra de este elemento para alcanzar al menos los 2 mg/kg a partir del cual serían concentraciones adecuadas (Thiagalingam, 2000). Por su parte, las concentraciones de manganeso, aunque se han incrementado ligeramente respecto al 1º ciclo de cultivo, (entre 1-2,5 mg/kg), seguirán siendo ligeramente bajas, por lo que deberían incrementarse para no llegar a tener deficiencias de este elemento en el cultivo (Thiagalingam, 2000). Finalmente, las concentraciones de hierro serían adecuadas (2,5-5 mg/kg) e incluso ligeramente elevadas en algunos casos (>5 mg/kg).

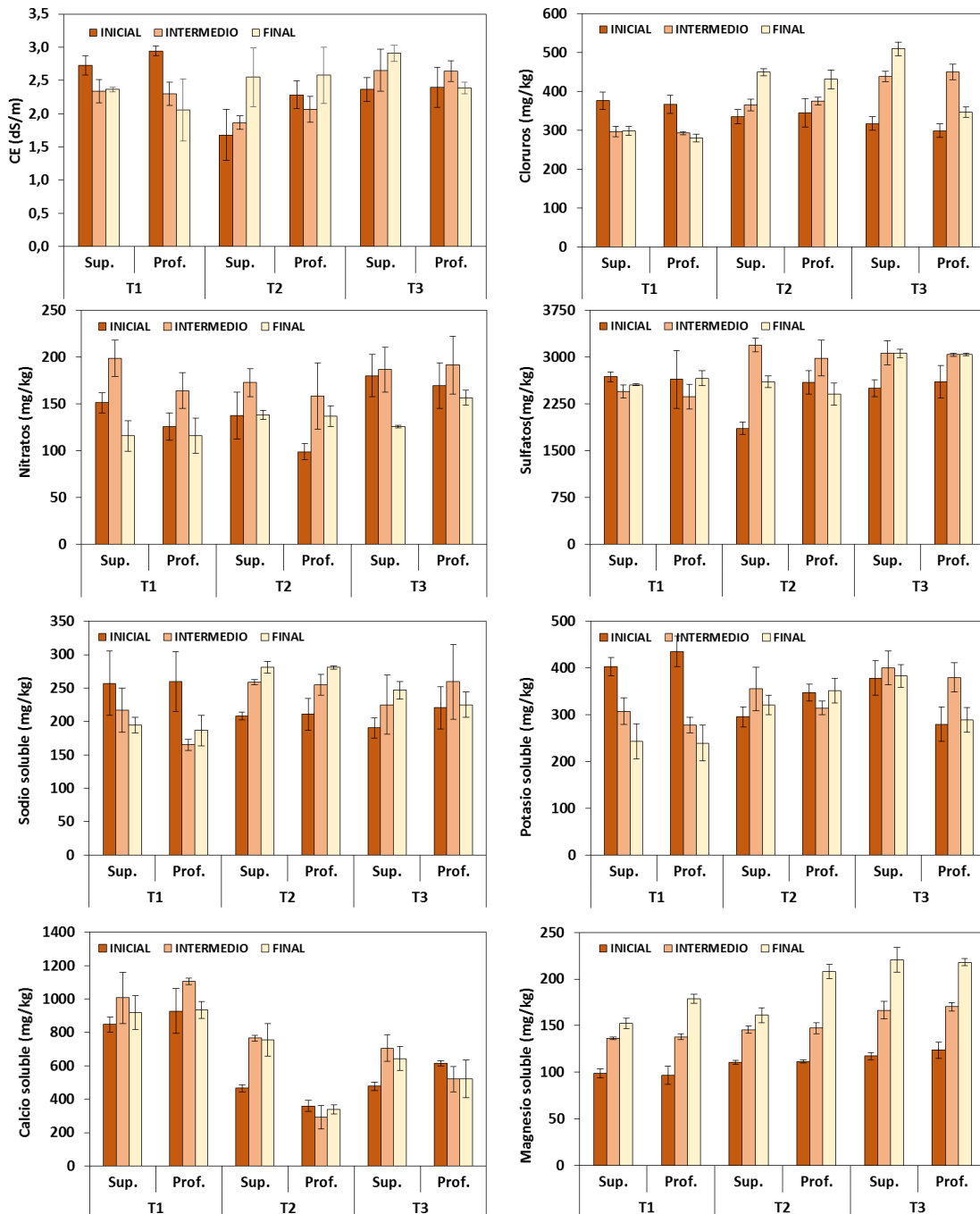
#### **4.5. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO EN LA SALINIDAD Y LOS ELEMENTOS FITOTÓXICOS EN LOS SUELOS**

##### ***Primer ciclo de cultivo (septiembre 2018-febrero 2019)***

En la figura 15 se presentan los resultados de salinidad (conductividad eléctrica (CE)) y concentraciones de aniones y cationes solubles del suelo en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, la salinidad de los suelos es muy alta (Thiagalingam, 2000), en la mayor parte de los casos por encima de 2 dS/m. No obstante, el tomate es tolerante a la salinidad del



suelo, no observándose descensos en la productividad hasta que se alcanzan  $CE > 2,5$  dS/m.



**Figura 15.** Evolución de la salinidad y aniones/cationes solubles en los suelos de los tres tratamientos

Respecto a la tendencia observada, en el primer tratamiento (T1) se produce una disminución en la CE del suelo a lo largo del ciclo, lo que muestra un lavado de sales en este tratamiento. Por el contrario, se observa un incremento de la misma en los



tratamientos T2 y T3, por lo que en estos casos se está produciendo una ligera salinización de los suelos. La misma tendencia es observada en el caso de los cloruros y el sodio, lo que indica que la salinidad observada es debida principalmente a esta sal, alcanzando concentraciones muy elevadas al final del ciclo de cultivo ( $>400$  mg/kg para cloruros y 250 mg/kg para sodio).

Por su parte, las concentraciones de sulfatos y magnesio siguen una tendencia similar, a excepción del tratamiento T1, observándose incrementos en su concentración en los tratamientos T2 y T3, siendo ligeramente superiores a medida que se incrementa la salinidad del agua de riego con los distintos tratamientos, alcanzando concentraciones muy elevadas ( $>3000$  mg/kg para sulfatos y 200 mg/kg para magnesio).

Al contrario que el resto de elementos evaluados, las concentraciones de potasio soluble, en general, permanece constante en los tres tratamientos a lo largo del ciclo de cultivo, por lo que existe un equilibrio entre el consumo por parte de la planta y los aportes de este elemento con la fertilización.

Finalmente, las concentraciones de nitratos tienden a aumentar en el muestreo intermedio en los tres tratamientos, para disminuir al final del ciclo tanto en superficie como en profundidad, con valores que varían entre 100 y 200 mg/L, teniendo un comportamiento semejante en los tres tratamientos.

En la figura 16 se presenta la concentración de boro asimilable en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, en superficie en todos los tratamientos se produce una disminución a lo largo del ciclo, mientras que en profundidad se observa un ligero incremento a mitad de ciclo, lo que indica un lavado de este elemento en el suelo y una cierta acumulación en profundidad, para disminuir al final del mismo, posible debido tanto a la absorción por el cultivo o bien por su lixiviación a capas más profundas de suelo. A pesar de que las concentraciones varían entre 1-2,5 mg/kg en los dos primeros muestreos, siendo ligeramente altas, disminuyen por debajo de 1 mg/kg en el tercer muestreo, considerándose niveles bajos, lo que indica que no existirá riesgo de toxicidad ni deficiencia por este elemento en el cultivo (Thiagalingam, 2000, Horneck et al., 2011).



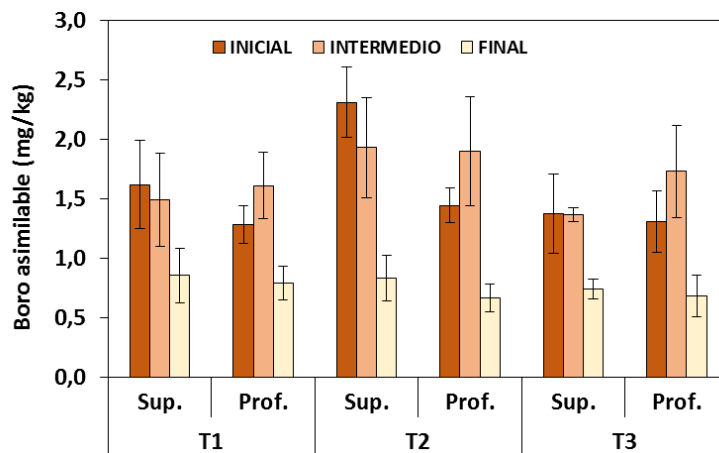


Figura 16. Evolución de la concentración de boro en los suelos de los tres tratamientos

### Segundo ciclo de cultivo (marzo 2019-julio 2019)

En la figura 17 se presentan los resultados de salinidad (conductividad eléctrica (CE)) y las concentraciones de aniones y cationes solubles del suelo en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Como se puede observar, la salinidad inicial de los suelos es significativamente diferente entre tratamientos, siendo muy elevada en las parcelas del tratamiento T1 (Thiagalingam, 2000), tanto en superficie como en profundidad, con valores próximos a 2,5 dS/m. Por el contrario, en los tratamientos T2 y T3 la salinidad inicial es media (<1dS/m). Estos resultados indican que durante la preparación del terreno para el segundo ciclo, el lavado llevado a cabo no ha sido efectivo del mismo modo en todas las parcelas, por lo que sería recomendable que en futuros ciclos este lavado sea lo más homogéneo posible.

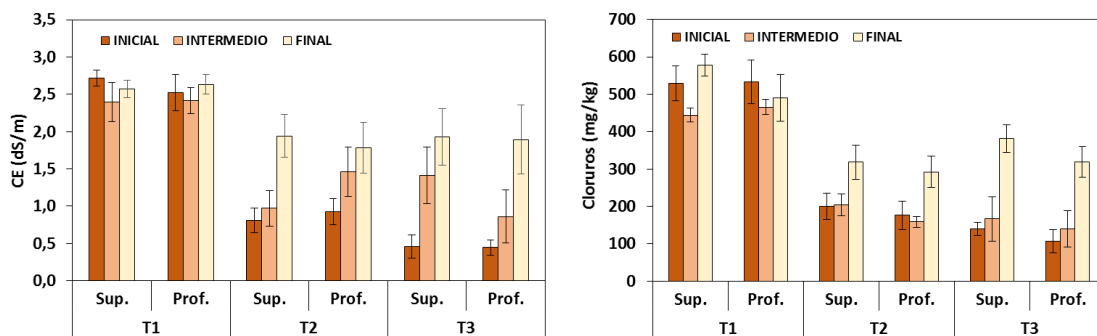


Figura 17. Evolución de la salinidad y aniones/cationes solubles en los suelos de los tres tratamientos

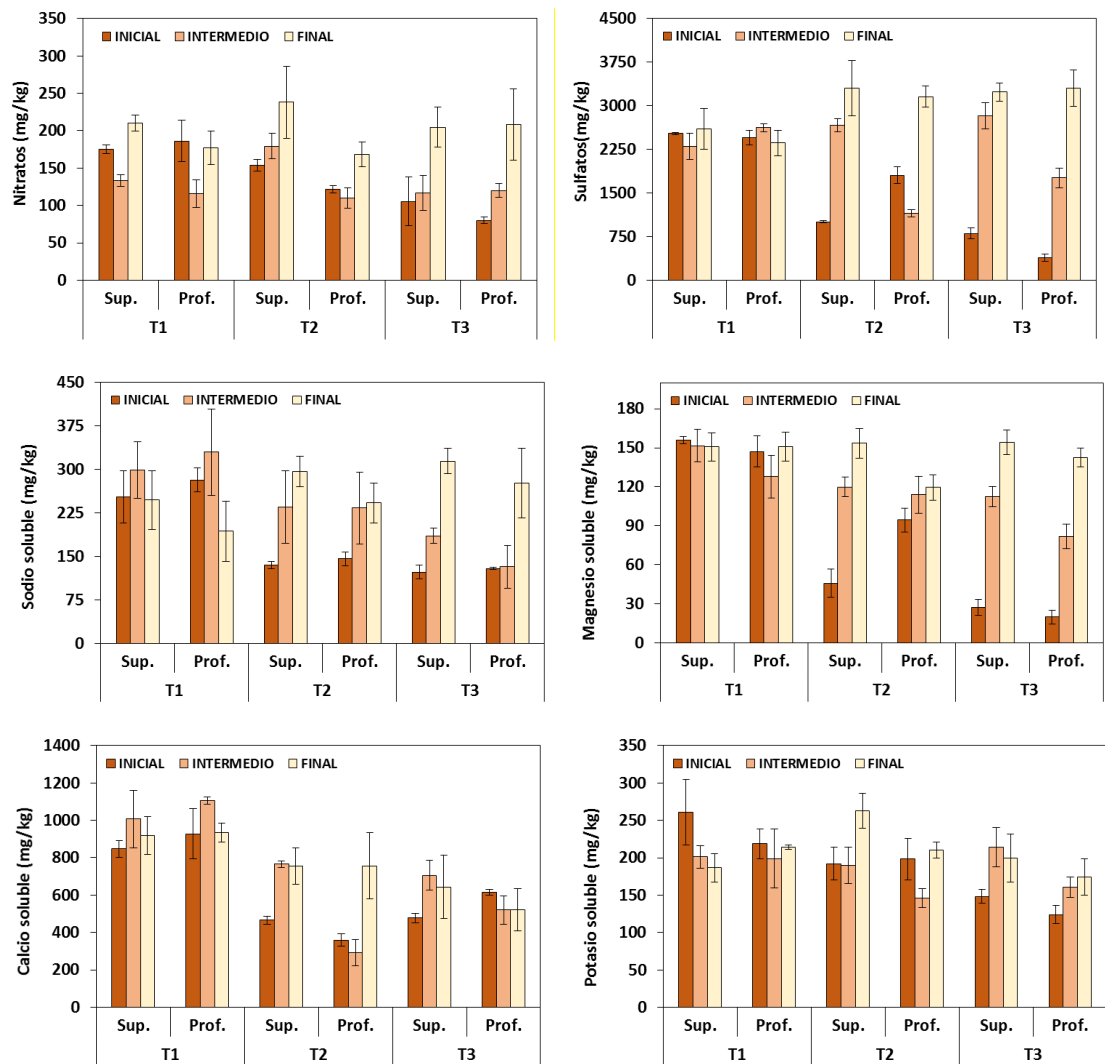


Figura 17. Evolución de la salinidad y aniones/cationes solubles...(continuación)

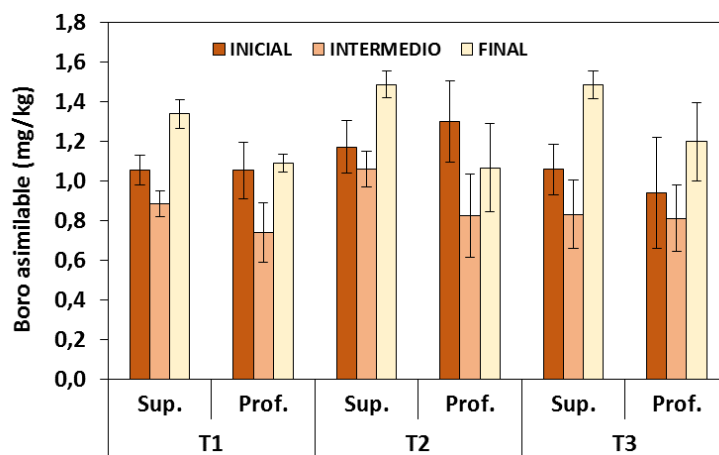
Respecto a la evolución de la salinidad durante el ciclo de cultivo, en el primer tratamiento (T1) la salinidad permanece constante tanto en superficie como en profundidad, mientras que en los tratamientos T2 y T3 se observa un incremento a lo largo del ciclo tanto en superficie como en profundidad. Por lo que el aumento de la salinidad en el agua de riego está provocando la salinización de los suelos, alcanzando valores cercanos a 2 dS/m en ambos tratamientos. La misma tendencia es observada en el caso de los cloruros, sulfatos, magnesio y sodio, lo que indica que la salinidad observada es debida principalmente a estas sales, alcanzando concentraciones muy elevadas (>300 mg/kg para cloruros, >3500 mg/kg para sulfatos, >120 mg/kg para magnesio y >300 mg/kg para sodio).



Del mismo modo que para los elementos anteriores, pero con menor intensidad, las concentraciones de potasio y calcio solubles, en general, tienden a aumentar en los tratamientos T2 y T3 a lo largo del ciclo de cultivo, lo cual es debido tanto a los aportes realizados en la fertirrigación, como a la liberación de los mismos del complejo de cambio por una posible competencia con el magnesio y sodio.

Finalmente, las concentraciones de nitratos tienden a aumentar en el muestreo final en los tres tratamientos, especialmente en los tratamientos T2 y T3, alcanzando los 250 y 200 mg/L respectivamente, probablemente debido al aporte realizado con la fertilización.

En la figura 18 se presenta la concentración de boro asimilable en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Como se puede apreciar, al contrario de lo que sucedía en el primer ciclo, en superficie de todos los tratamientos se produce incremento al final del ciclo, mientras que en profundidad se mantiene relativamente constante, lo que indica una cierta acumulación de este elemento en superficie. No obstante, las concentraciones máximas alcanzan son inferiores a 1,5 mg/kg, considerado como un nivel medio, lo que indica que no existirá ni riesgo de toxicidad ni deficiencia por este elemento en el cultivo (Thiagalingam, 2000, Horneck et al., 2011).



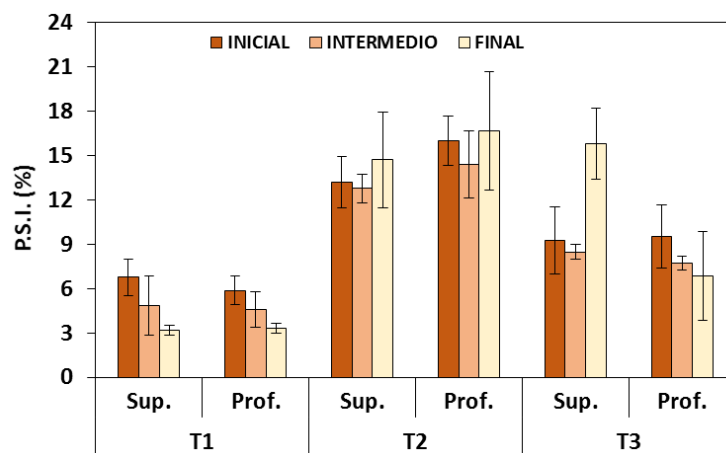
**Figura 18.** Evolución de la concentración de boro en los suelos de los tres tratamientos



#### 4.6. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

##### *Primer ciclo de cultivo (septiembre 2018-febrero 2019)*

En la figura 19 se presenta la evolución del porcentaje de sodio intercambiable del suelo (PSI) en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, existe una elevada heterogeneidad de partida entre las tres parcelas, principalmente en las parcelas del tratamiento T2, donde el PSI se encuentra próximo al 12%, mientras que en la T1 es del 6% y en la T3 es del 9%, lo cual es debido a la distinta concentración de sodio intercambiable encontrada en el suelo de estudio al principio del ensayo. En cuanto a las tendencias observadas, se aprecia que el T1 el PSI tiende a disminuir, lo que indica que el sodio está siendo reemplazado del complejo de cambio posiblemente por Ca y/o Mg y lavado con las aguas de lixiviación. Por su parte, en el tratamiento T2 el PSI se mantiene relativamente constante, mientras que en el caso del T3 se observa un incremento significativo al final del ciclo, por lo que el incremento de la salinidad está afectado al porcentaje de sodio retenido en el complejo de cambio del suelo. Tanto en el tratamiento T2, como en el final del T3 los valores de PSI se encuentran cercanos a 15, lo que indica que podría producirse cierto riesgo de inestabilidad de la estructura del suelo si dicha tendencia se manutuviera en los siguientes ciclos.



**Figura 19.** Evolución del porcentaje de sodio intercambiable en los suelos de los tres tratamientos

En la figura 20 se presenta la evolución de las propiedades físicas del suelo (densidad real, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica y agregados



estables) en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, la porosidad varía entre 30-50% por lo que el suelo de las parcelas de estudio presenta una adecuada aireación, siendo esta ligeramente inferior en las parcelas del tratamiento T2, posiblemente debido al mayor porcentaje de limo que presentan estas parcelas. Por su parte, los agregados estables en agua de las parcelas son escasos, con un porcentaje que no alcanza el 2,5% en ninguno de los casos, por lo que sería recomendable la aplicación de una enmienda orgánica que incremente la agregación de las partículas del suelo. Finalmente, la conductividad hidráulica es semejante en los distintos tratamientos, siendo esta ligeramente elevada en todos los casos (Whitlow, 1994). Finalmente, indicar que no existen diferencias entre tratamientos para ninguna de las propiedades físicas evaluadas, por lo que las distintas aguas usadas en el ensayo no tienen efecto sobre estas propiedades.

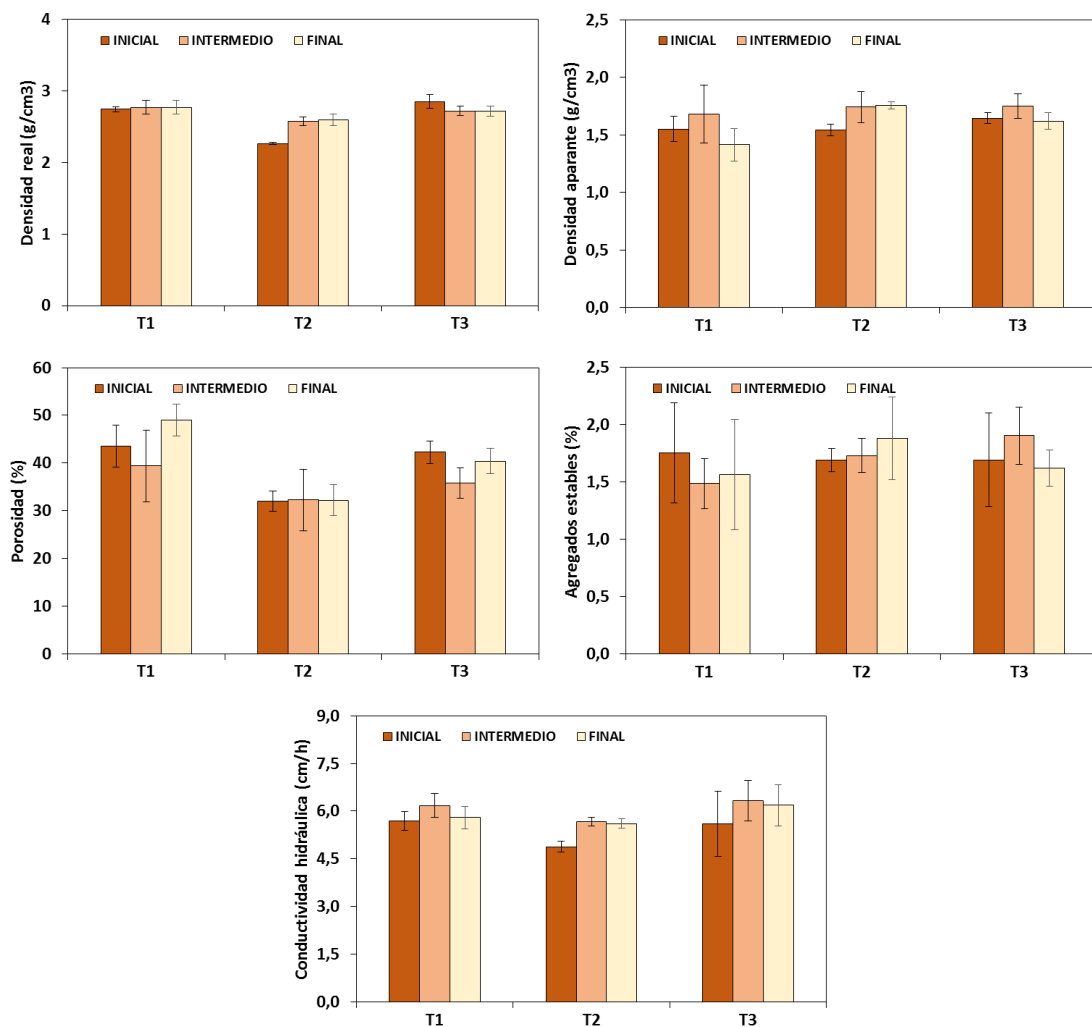


Figura 20. Evolución de las propiedades físicas de los suelos en los tres tratamientos



### Segundo ciclo de cultivo (marzo 2019-julio 2019)

En la figura 21 se presenta la evolución del porcentaje de sodio intercambiable del suelo en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Como se puede observar, en los tres tratamientos se observa un incremento en el valor del PSI, alcanzando porcentajes del 12% para el T1 al final del ciclo, y valores cercanos al 18% para en el tratamiento T2, al 21% en el tratamiento T3, lo que indica que el sodio está siendo retenido en el complejo de cambio causando un riesgo de inestabilidad de la estructura del suelo, especialmente en el tratamiento T3.

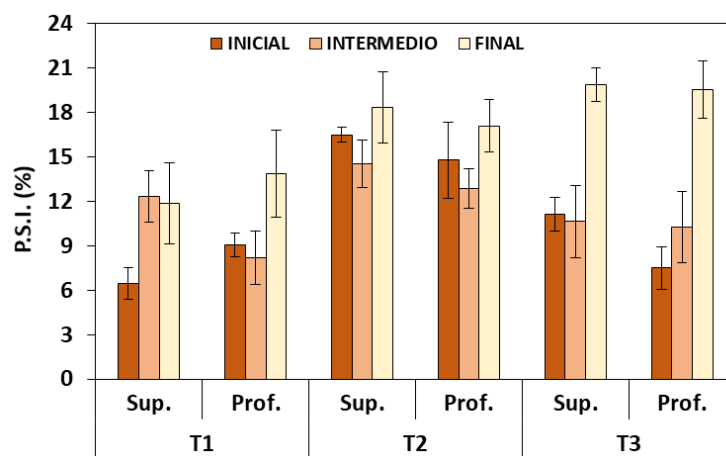


Figura 21. Evolución del porcentaje de sodio intercambiable en los suelos de los tres tratamientos

En la figura 22 se presenta la evolución de las propiedades físicas del suelo (densidad real, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica y agregados estables) en los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Al igual que sucedía en el primer ciclo de cultivo, la porosidad de los suelos de estudio varía entre 30-50% por lo que el suelo de las parcelas de estudio presenta una adecuada aireación. Por su parte, los agregados estables en agua de las parcelas siguen siendo escasos, con un porcentaje que no alcanza el 2,5% en ninguno de los casos, con una ligera tendencia a aumentar en el tratamiento T1. Finalmente, la conductividad hidráulica es semejante en los distintos tratamientos siendo ésta ligeramente elevada en todos los casos (Whitlow, 1994).

Por último, indicar que a pesar de observarse un incremento significativo en el PSI en los tratamientos T2 y T3, no existen diferencias entre tratamientos para ninguna de las propiedades físicas evaluadas, por lo que las distintas aguas usadas en el ensayo no tienen efecto sobre estas propiedades.

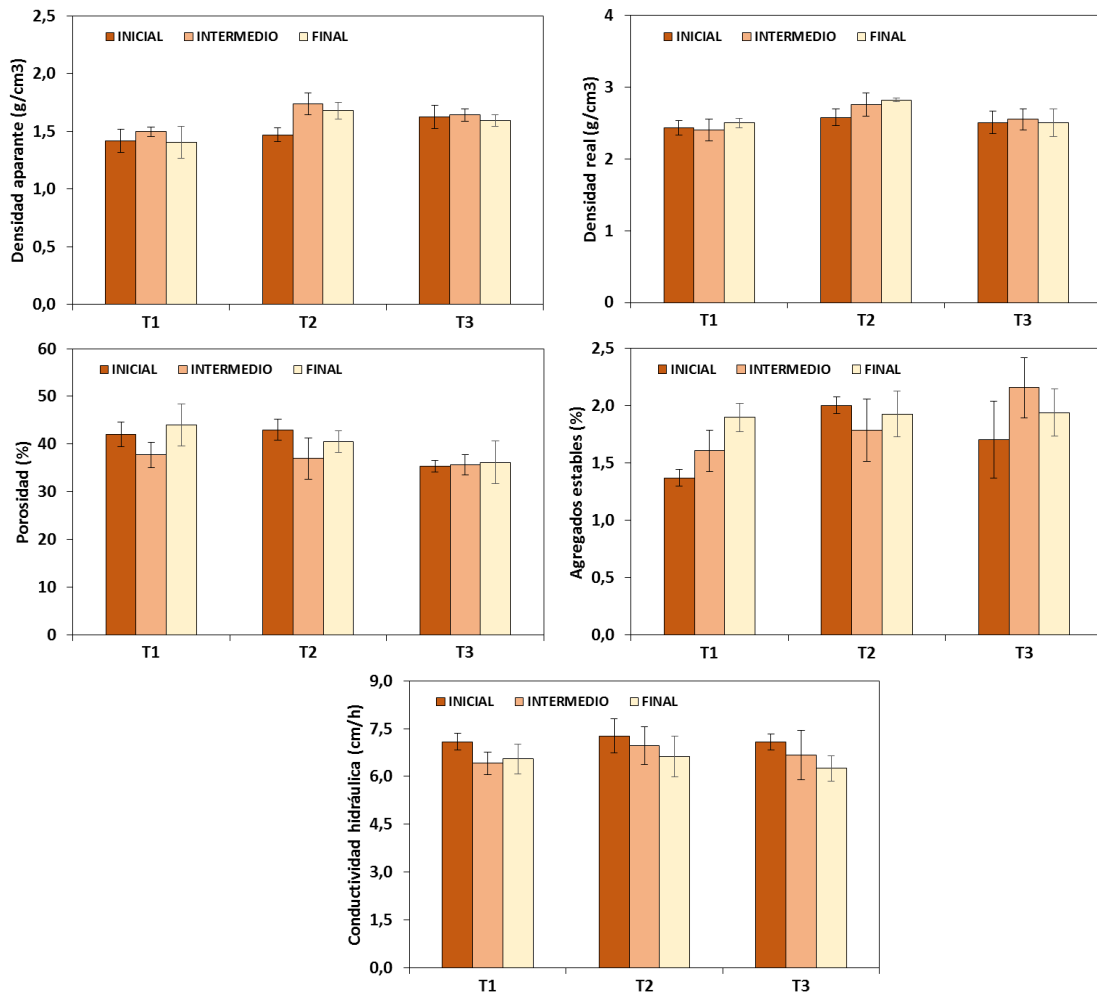


Figura 22. Evolución de las propiedades físicas de los suelos en los tres tratamientos

#### 4.7. EFECTO DEL TIPO DE AGUA DE RIEGO EN LAS CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN PLANTA

##### *Primer ciclo de cultivo (septiembre 2018-febrero 2019)*

En la figura 23 se presenta la evolución de la concentración de macronutrientes en los tres tratamientos, tanto para cultivo en hidropónico como en suelo, en el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, tanto en el caso del nitrógeno como del potasio, ambos presentan mayores concentraciones en el muestreo intermedio que en el final, no observándose diferencias ni entre tratamientos ni entre sistemas de cultivo, a pesar de las diferentes concentraciones aportadas con el agua de riego en los distintos tratamientos.

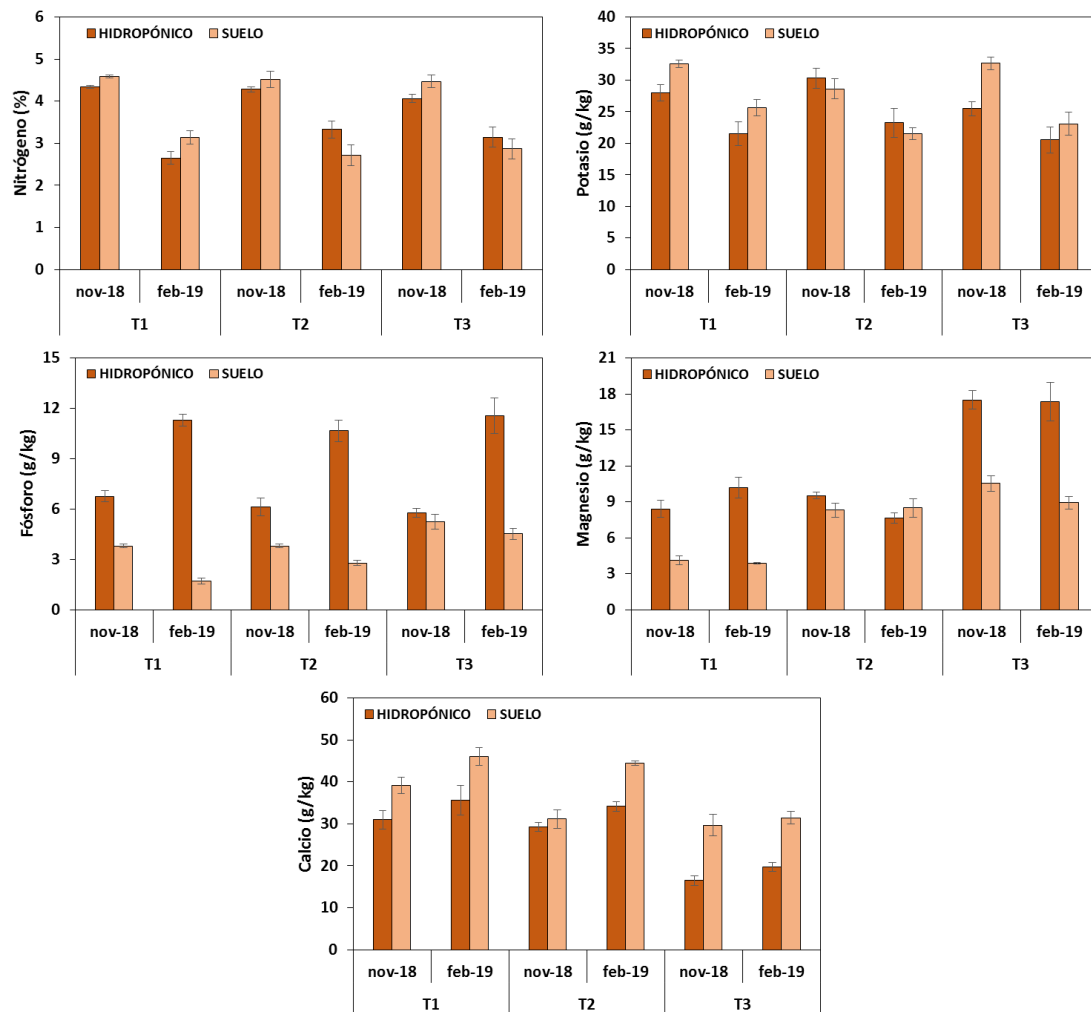


Figura 23. Evolución de las concentraciones de macronutrientes en las plantas de los tres tratamientos

Las concentraciones de nitrógeno se encuentran en rangos normales para el cultivo de tomate (3-4 %) (Junta de Extremadura, 1992) en todos los tratamientos del primer muestreo, mientras que son ligeramente bajas (<3 %) para el segundo muestreo. En el caso del potasio, los niveles fueron adecuados para el primer muestreo en ambos sistemas, siendo ligeramente inferiores a los recomendados (27-35 g/kg) en el segundo muestreo (Junta de Extremadura, 1992), no obstante, no se observaron deficiencias por estos elementos en el cultivo.

Por el contrario, las concentraciones de fósforo fueron mayores en las plantas cultivadas en el sistema hidropónico que en suelo, y mayores al final del ciclo (9 g/kg) que en el estado intermedio (6 g/kg), lo que indica una mayor eficiencia de absorción de este elemento en el sistema sin suelo, cuyas concentraciones fueron muy altas al final de ciclo (>6 g/kg) y ligeramente altas en el estado intermedio (3,5-6 g/kg) mientras que en el suelo estas serían normales en todos los casos (Junta de Extremadura, 1992). No





obstante, no se observan diferencias entre tratamientos, a pesar de las diferencias encontradas en las concentraciones aplicadas con el agua de riego, y la disponibilidad de este elemento en el suelo.

En el caso del magnesio, se observa que, en general, el cultivo hidropónico absorbe mayor cantidad de este elemento, a excepción del T2 donde las concentraciones en ambos sistemas de cultivo son semejantes. Las concentraciones registradas en los dos muestreos realizados fueron semejantes para cada uno de los sistemas, observándose una tendencia a aumentar cuando se aportó en mayor proporción de este nutriente en el agua de riego. En todos los casos las concentraciones en hoja fueron normales (6-10 g/kg), a excepción del T1 en suelo que fueron ligeramente bajas (<4 g/kg), y en T3 en hidropónico que alcanzaron los 18 g/kg, calificadas como altas (Junta de Extremadura, 1992).

Finalmente, el calcio es el único macronutriente cuyas concentraciones son ligeramente superiores en suelo que en hidropónico, con valores que se pueden catalogar como normales, ya que en todos los casos están en el rango 20-35 g/kg, a excepción del T3 en hidropónico que serían bajas (<20 g/kg) (Junta de Extremadura, 1992). No obstante, se observa una tendencia a disminuir con los tratamientos debido a disminución observada en la concentración de calcio intercambiable y las distintas concentraciones de calcio aplicadas con el agua de riego.

En la figura 23 se presenta la evolución de la concentración de micronutrientes en los tres tratamientos, tanto para cultivo hidropónico como en suelo, en el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, la concentración de manganeso es muy superior en el cultivo hidropónico que en suelo, a pesar de que la concentración aportada con el agua de riego fue ligeramente inferior en el hidropónico, lo que muestra la elevada eficiencia de asimilación de este nutriente en el cultivo sin suelo, y a que el Mn queda retenido en el suelo y es más difícil de ser absorbido por la planta. De igual modo, se observa que en el cultivo hidropónico, las concentraciones son mayores al final del cultivo, alcanzando concentraciones de 250 mg/kg, mientras que a mitad de ciclo estas concentraciones se encuentran cercanas a 120 mg/kg, en ambos casos niveles considerados normales (40-350 mg/kg) (Junta de Extremadura, 1992). Por el contrario, en el cultivo en suelo las concentraciones son semejantes en ambos muestreos, siendo estas ligeramente bajas (< 50 mg/kg), lo que está estrechamente relacionado con la biodisponibilidad de este



elemento en el suelo, que como se comentó anteriormente fue baja. Finalmente, indicar que el tratamiento no afecta a la absorción de este elemento por el cultivo.

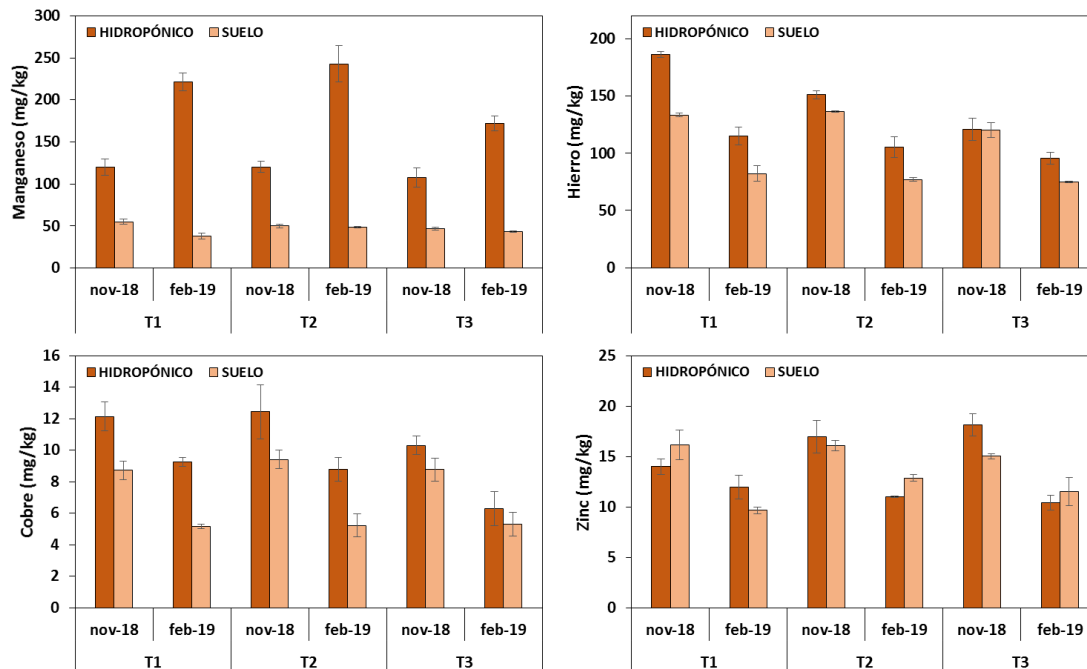


Figura 24. Evolución de las concentraciones de micronutrientes en las plantas de los tres tratamientos

En el caso del hierro y el cobre, su concentración es ligeramente superior en el cultivo hidropónico, a excepción del muestreo intermedio del tratamiento T3 en el que las concentraciones de hierro son semejantes, lo que muestra la elevada eficiencia de asimilación de estos nutrientes en el cultivo sin suelo. De igual modo, se observa que en ambos sistemas, las concentraciones de Fe y Cu son mayores en el muestreo intermedio, alcanzando valores de 150 mg/kg y 12 mg/kg respectivamente, mientras que a final de ciclo estas concentraciones se encuentran cercanas a 100 mg/kg, y 8 mg/kg respectivamente, en ambos casos niveles considerados normales (100-150 mg/kg para Fe y entre 10-20 mg/kg para cobre) (Junta de Extremadura, 1992). Finalmente, indicar que el tratamiento no afecta a la absorción de estos elementos por el cultivo en el caso del cultivo en suelo, mientras que en para el cultivo en hidropónico a mayor salinidad menor absorción de hierro y cobre por el cultivo, lo que podría estar relacionado con antagonismos entre elementos.

Al contrario que para el resto de micronutrientes, las concentraciones de zinc fueron semejantes para ambos sistemas de cultivo, siendo estas superiores en el muestreo



intermedio que al final del cultivo, con concentraciones cercanas a 15 mg/kg y a 10 mg/kg respectivamente, los cuales serían algo bajas, ya que los niveles normales estarían en torno a 20-60 mg/kg (Junta de Extremadura, 1992). En este caso, tampoco se observan diferencias significativas en la absorción de este micronutriente con los tratamientos para ambos sistemas de cultivo.

En la figura 24 se presenta la evolución de la concentración de los elementos potencialmente fitotóxicos (cloruros, sodio y boro) en los tres tratamientos, tanto para cultivo hidropónico como en suelo, en el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, las concentraciones de cloruro son mayores en suelo que en hidropónico, y ligeramente superiores en el muestreo final que en el intermedio, no observándose diferencias entre tratamientos en el cultivo hidropónico, mientras que se observa un incremento en el tratamiento T2 y T3 respecto al tratamiento T1 en suelo. De acuerdo con la figura 25, las concentraciones registradas en todos los casos en hidropónico (<10 g/kg) no suponen un efecto significativo en el desarrollo del cultivo, mientras que las encontradas en el cultivo en suelo en los tratamientos T2 y T3 (>20 g/kg) pueden ocasionar una reducción del 30% en el peso de la planta.

Como se puede observar (Figura 24), las concentraciones de sodio son semejantes tanto en el cultivo en suelo que en hidropónico, a excepción al muestreo final del tratamiento T3, y ligeramente superiores en el muestreo final que en el intermedio para todos los tratamientos. Al igual que en el caso de los cloruros, no se observan diferencias entre tratamientos en el cultivo hidropónico, mientras que se observa un incremento en el tratamiento T2 y T3 respecto al tratamiento T1 en suelo. En todos los casos, a excepción del muestreo intermedio del tratamiento T1 en suelo, las concentraciones de sodio superan 1g/kg, concentración máxima de suficiencia para el cultivo (LMP, 2011), alcanzando concentraciones cercanas a 3 g/kg.

En relación al boro (Figura 24), sus concentraciones son semejantes tanto en el cultivo en suelo como en el hidropónico, siendo ligeramente superiores en el muestreo final que en el intermedio para todos los tratamientos cuyas concentraciones fueron elevadas (>100 mg/kg) en el final del cultivo y ligeramente altas (aprox. 80 mg/kg) en el muestreo intermedio (Junta de Extremadura, 1992). En este caso, no se observan diferencias entre tratamientos en los dos sistemas de cultivo.

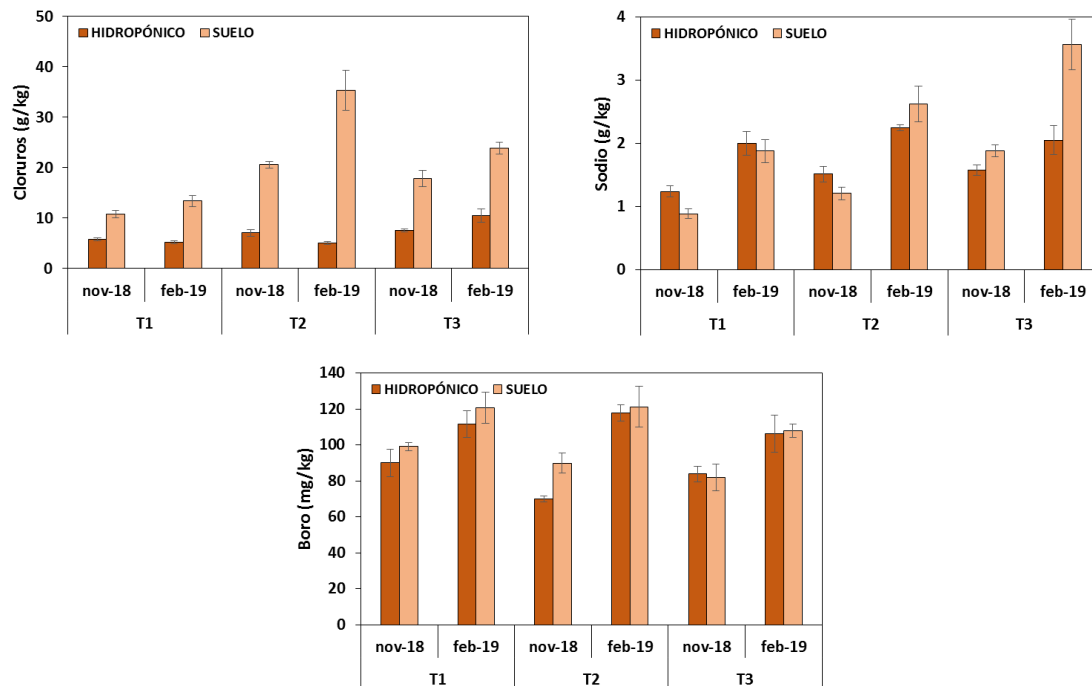


Figura 24. Evolución de las concentraciones de elementos fitotóxicos en las plantas de los tres tratamientos

### Segundo ciclo de cultivo (marzo 2019-julio 2019)

En la figura 25 se presenta la evolución de la concentración de macronutrientes en los tres tratamientos, tanto para cultivo hidropónico como en suelo, en el segundo ciclo de cultivo. Como se puede observar, al igual que en primer ciclo, las concentraciones de nitrógeno y potasio fueron mayores en el muestreo intermedio que en el final, no observándose diferencias entre sistemas de cultivo. Por el contrario, se ha observado una disminución en la absorción de potasio al incrementar la salinidad, posiblemente se ha producido un proceso de antagonismos con sodio y magnesio, elementos aportados para incrementar la salinidad del agua de riego. Las concentraciones de nitrógeno se encuentran en rangos normales para el cultivo de tomate (3-4 %) (Junta de Extremadura, 1992) en todos los tratamientos del primer muestreo, mientras que son ligeramente bajos (<3 %) para el segundo muestreo. En el caso del potasio, los niveles fueron ligeramente inferiores a los recomendados (27-35 g/kg) el primer muestreo, siendo bajos (<20 g/kg) en el segundo muestreo en ambos sistemas (Junta de Extremadura, 1992), por lo que sería recomendable un aporte extra de este nutriente en los siguientes ciclos de cultivo.



En relación a las concentraciones de fósforo, de igual modo que se observó en el primer ciclo, estas fueron muy superiores en las plantas cultivadas en el sistema hidropónico que en suelo, y mayores al final del ciclo (12-18 g/kg) que en el estado intermedio (6-10 g/kg), lo que indica una mayor eficiencia de absorción de este elemento en el sistema sin suelo. En el sistema sin suelo, los valores encontrados fueron muy altos en todos los muestreos (>6 g/kg), mientras que en suelo estos fueron normales (2-3,5 g/kg) en todos los casos (Junta de Extremadura, 1992). Finalmente indicar que, en el caso del cultivo sin suelo, se observaron incrementos progresivos de fósforo en las plantas con los tratamientos, lo que únicamente se observó en el tratamiento T3 en el cultivo con suelo, lo cual está estrechamente relacionado con la mayor concentración de fósforo asimilable en el suelo en este tratamiento.

En el caso del magnesio, al contrario que en el ciclo anterior, el cultivo en suelo absorbe ligeramente una mayor cantidad de este elemento. Las concentraciones registradas en el muestreo final fueron ligeramente superiores para cada uno de los sistemas, observándose una tendencia a aumentar cuando se aportó en mayor proporción de este nutriente en el agua de riego. En todos los casos las concentraciones en hoja son normales (6-10 g/kg), e incluso ligeramente altas en los tratamientos T2 (muestreo final) y T3, no llegando en ningún caso a valores calificados como muy altos (>20 g/kg) (Junta de Extremadura, 1992).

Finalmente, al igual que el magnesio, las concentraciones de calcio fueron ligeramente superiores en el suelo que en el hidropónico, con valores que se pueden catalogar como normales, ya que en la mayoría de los casos están en el rango 20-35 g/kg, con algunos muestreos donde se superaron los 45 g/kg siendo en este caso altos (Junta de Extremadura, 1992). No obstante, se observa una tendencia a disminuir con los tratamientos en el muestreo intermedio debido a disminución observada en la concentración de calcio intercambiable y las distintas concentraciones de calcio aplicadas con el agua de riego.

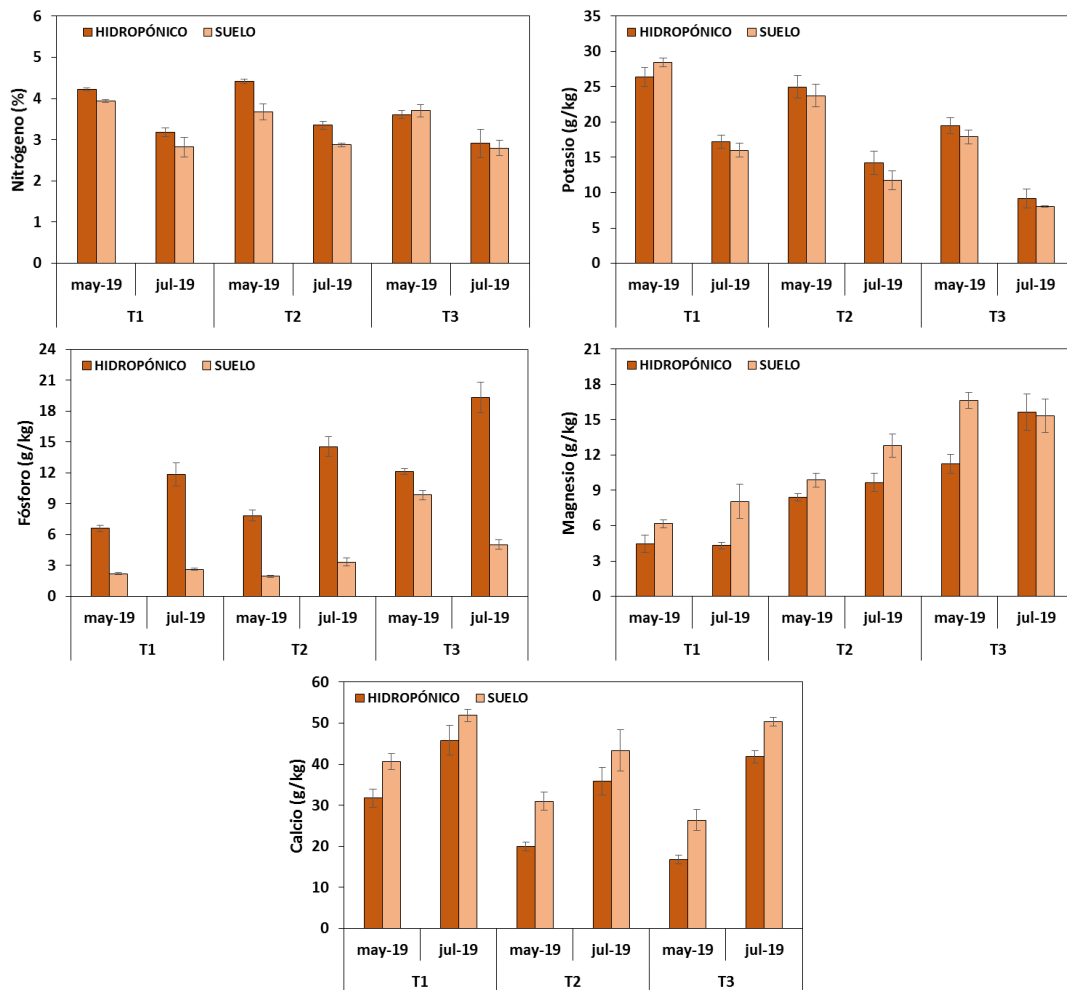


Figura 25. Evolución de las concentraciones de macronutrientes en las plantas de los tres tratamientos

En la figura 26 se presenta la evolución de la concentración de micronutrientes en los tres tratamientos, tanto para cultivo hidropónico como en suelo, en el segundo ciclo de cultivo. Como se puede observar, y al igual que sucedía en el primer ciclo de cultivo, la concentración de manganeso es muy superior en el cultivo hidropónico que en suelo, lo que muestra la elevada eficiencia de asimilación de este nutriente en el cultivo sin suelo, y a que el Mn queda retenido en el suelo y es más difícil de ser absorbido por la planta. De igual modo, se observa que en el cultivo hidropónico, las concentraciones son mayores al final del cultivo, alcanzando concentraciones de 300 mg/kg, mientras que a mitad de ciclo estas concentraciones se encuentran cercanas a 150 mg/kg, en ambos casos niveles considerados normales (40-350 mg/kg) (Junta de Extremadura, 1992). Por el contrario, en el cultivo en suelo las concentraciones son semejantes en ambos muestreos,



siendo estas ligeramente bajas (aprox. 50 mg/kg), lo que está estrechamente relacionado con la biodisponibilidad de este elemento en el suelo, que como se comentó anteriormente fue baja. Finalmente, indicar que el tratamiento no afecta a la absorción de este elemento por el cultivo.

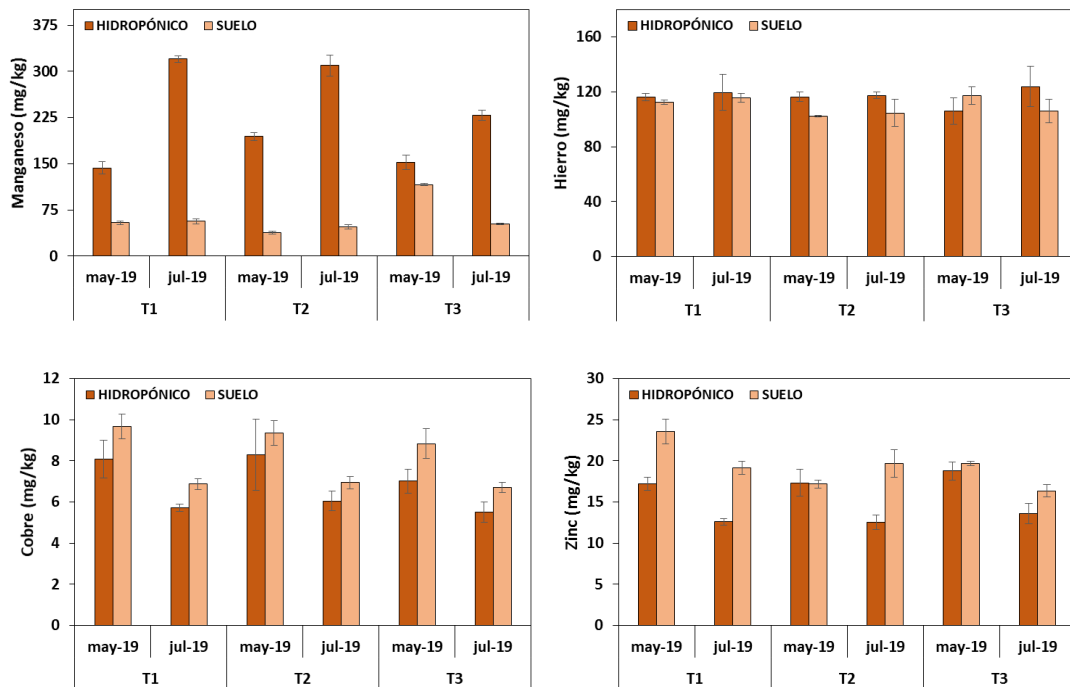


Figura 26. Evolución de las concentraciones de micronutrientes en las plantas de los tres tratamientos

En el caso del hierro, su concentración fue en ambos sistemas de cultivo semejantes. De igual modo, se observa que en ambos sistemas, las concentraciones de Fe se mantienen constantes durante el ciclo y entre tratamientos, alcanzando valores cercanos a 120 mg/kg, niveles considerados normales (100-150 mg/kg) (Junta de Extremadura, 1992). Finalmente, indicar que el tratamiento no afecta a la absorción de este elemento por el cultivo tanto cultivado en suelo como en hidropónico.

Por su parte la concentración de cobre es ligeramente superior en el cultivo en suelo. De igual modo, se observa que en ambos sistemas, las concentraciones de Cu fueron mayores en el muestreo intermedio, alcanzando valores de 10 mg/kg, mientras que a final de ciclo estas concentraciones se encuentran cercanas a 6 mg/kg, consideradas normales en el primer muestreo (10-20 mg/kg) y ligeramente bajo en el último (Junta de



Extremadura, 1992). Finalmente, indicar que el tratamiento no afecta a la absorción de estos elementos por el cultivo en ninguno de los sistemas de cultivo.

Finalmente, las concentraciones de zinc fueron ligeramente superiores en el cultivo en suelo, a excepción del muestreo intermedio en los tratamientos T2 y T3 donde sus concentraciones fueron semejantes en los dos sistemas de cultivo. En general, las concentraciones fueron inferiores al rango para considerarlas normales, estando por debajo de 20 mg/kg (20-60 mg/kg) (Junta de Extremadura, 1992), incluso se observaron registraron concentraciones deficitarias (<15 mg/kg) en el cultivo hidropónico al final del ciclo. En este caso, tampoco se observan diferencias significativas en la absorción de este micronutriente con los tratamientos para ambos sistemas de cultivo.

En la figura 27 se presenta la evolución de la concentración de los elementos potencialmente fitotóxicos (cloruros, sodio y boro) en los tres tratamientos, tanto para cultivo hidropónico como en suelo, en el segundo ciclo de cultivo. Al igual que se ha observado en el primer ciclo, las concentraciones de cloruro son superiores en suelo que en hidropónico, y ligeramente más elevadas en el muestreo final que en el intermedio. En este ciclo, se observaron ligeros incrementos entre tratamientos en los dos sistemas de cultivo. De acuerdo con la figura 25, las concentraciones registradas en hidropónico (<10 g/kg) no suponen un efecto significativo en el desarrollo del cultivo, a excepción del tratamiento T3, que junto con las concentraciones halladas en el cultivo en suelo en todos los tratamientos (>30 g/kg), pueden ocasionar una reducción del 40% en el peso de la planta.

En el caso de las concentraciones de sodio, son ligeramente superiores en el cultivo en suelo que en hidropónico, a excepción al muestreo intermedio del tratamiento T3, y semejantes en ambos muestreos para todos los tratamientos. En este caso se observan diferencias entre tratamientos en ambos sistemas de cultivo, aumentando en los tratamientos T2 y T3. En todos los casos, las concentraciones de sodio superan 1g/kg, límite máximo de concentración de suficiencia para el cultivo (LMP, 2011), alcanzando concentraciones cercanas a 3 g/kg en los tratamientos T2 y T3.



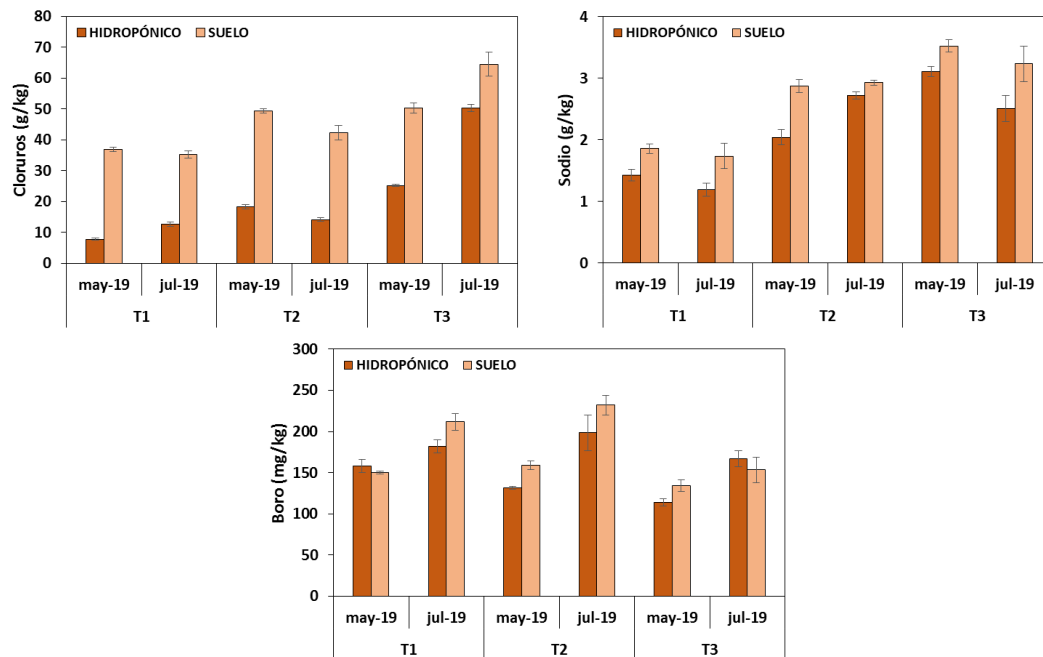


Figura 27. Evolución de las concentraciones de elementos fitotóxicos en las plantas de los tres tratamientos

En relación al boro (Figura 27), sus concentraciones son ligeramente superiores en el cultivo en suelo que en hidropónico, siendo ligeramente superiores en el muestreo final que en el intermedio para todos los tratamientos, cuyas concentraciones fueron altas (>100 mg/kg) en ambos muestreos (Junta de Extremadura, 1992). En este caso, no se observan diferencias en la absorción de este elemento por parte del cultivo entre tratamientos en los dos sistemas de cultivo.



## **5. CONCLUSIONES**

Los resultados del análisis del agua de riego permiten concluir que es necesario realizar un ajuste de macro y micronutrientes en la fertirrigación para que ambos sistemas (hidropónico y suelo) reciban las mismas concentraciones. De igual modo, se deberían incrementar las concentraciones de nitratos y potasio en el tratamiento T3 para poder evaluar el efecto de estos nutrientes tanto en el suelo como en el cultivo.

Se ha demostrado que el uso de agua marina desalinizada con distintos grados de salinidad no afecta al pH, contenido en carbono orgánico e inorgánico, a la capacidad de intercambio catiónico, ni a la textura del suelo.

En relación a su efecto sobre los macronutrientes, se puede concluir que en ambos ciclos se ha observado que el incremento de la salinidad afecta al comportamiento de fósforo y sodio asimilable, no afectando al nitrógeno total, potasio y calcio asimilables. Por su parte, el comportamiento de magnesio se vio afectado únicamente en el segundo ciclo, por lo que para poder llegar a una conclusión más objetiva para este nutriente se debe evaluar su comportamiento en los dos siguientes ciclos de cultivo.

En relación a su efecto sobre los micronutrientes, se puede concluir que en ambos ciclos se ha observado que el incremento de la salinidad no afecta al comportamiento de manganeso asimilable. Por su parte, el comportamiento de hierro, zinc y cobre se vio afectado en el segundo ciclo, por lo que para poder llegar a una conclusión más objetiva para estos nutrientes se debe evaluar su comportamiento en los dos siguientes ciclos de cultivo.

En relación a su efecto sobre la salinidad y la concentración de aniones y cationes solubles, se puede concluir que en ambos ciclos se ha observado que el incremento de la salinidad afecta al comportamiento de la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros, sodio, sulfatos y magnesio solubles, no afectando a la concentración de nitratos, boro, calcio y potasio solubles.

En relación a su efecto sobre las propiedades físicas, se puede concluir que en ambos ciclos se ha observado que el incremento de la salinidad afecta al porcentaje de sodio intercambiable, no afectando a la densidad aparente, porosidad, agregados estables y conductividad hidráulica del suelo.



En relación a su efecto sobre la absorción de nutrientes por el cultivo, se puede concluir que en ambos ciclos se ha observado que el incremento de la salinidad afecta la absorción de cloruros y sodio, no afectando al nitrógeno, manganeso, zinc y boro. Por su parte, el comportamiento de K, P, y Mg se vio afectado únicamente en el segundo ciclo, mientras que el comportamiento de Ca, Fe y Cu se vio afectado únicamente en el primer ciclo, por lo que para poder llegar a unas conclusiones más objetivas para estos nutrientes se debe evaluar su comportamiento en los dos siguientes ciclos de cultivo.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Testing and Material. 1958. Procedures for testing soils. American Society for Testing and Material, Philadelphia.
- Andrades M. 1996. Prácticas de Edafología y Climatología. Universidad de la Rioja (Ed.). Logroño, La Rioja, España. 14-16 pp.
- ANZECC [Australian and New Zealand Environment and Conservation Council]. 2000. Guidelines for fresh and marine water quality. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council.
- Avni N, Eben-Chaime M, Oron G. 2013. Optimizing desalinated sea water blending with other sources to meet magnesium requirements for potable and irrigation waters. *Water Research* 47:2164–2176.
- Bar-Tal A, Keinan M, Aloni B, Karni L, Oserovitz Y, Gantz S, Hazan A, Itach M, Tratakovski N, Avidan A, Posalski I. 2001. Relationships between blossom- end rot and water availability and Ca fertilization in bell pepper fruit production. *Acta Horticulturae* 554:97–104.
- Ben-Gal A, Yermiyahu U, Cohen S. 2009. Fertilization and blending alternatives for irrigation with desalinated water. *Journal of Environmental Quality* 38:529–536.
- Campbell, D.J., Hensall, J.K. 1991. Bulk density. En: Smith, K.A., Mullis, Ch. E. (Eds.), *Soil analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 329-366.
- Díez, J.A., 1982. Consideraciones sobre la utilización de la técnica extractiva de Burriel-Hernando para la evaluación de fósforo asimilable en suelos. *Anal. Edaf. Agrobiol.* 41: 1345-1353.
- Eaton. F.M. 1935 Boron in soil and irrigation waters and its effect on plants with particular reference to San Joaquin Valley of California. *USDA Technical Bulletin* 448.
- F.A.O.-I.S.R.I.C. 2006. Guidelines for Soil Description. 4th edition (revised). F.A.O. Roma, 97pp.
- FAO, 2016. Guidelines for soil description. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 10 pp.
- Grieve CM, Grattan SR, Maas EV. 2012. Plant salt tolerance. In: Wallender WW, Tanji KK. (Eds.), *ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71 Agricultural Salinity Assessment and Management*, 2nd edition. ASCE, Reston, VA.
- Hartmann, R. 2000. *Soil Physics*. Lecture notes, Dept. of Soil Management of Soil Care, Ghent University, Belgium.
- Horneck D.A., Sullivan D.M., Owen J.S., y Hart J.M. 2011. *Soil Test Interpretation Guide*. Oregon State University. 12pp.
- Junta de Extremadura, 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Consejo de abonado (Normas básicas). Mundi Prensa.
- Linsay W.L. y Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 42-428.



- Maas, E.V. 1984. Salt tolerance of plants. In: Handbook of plant science in agriculture, B.R. Christie, ed. CRC Press, Inc. Cleveland, Ohio
- Morris R, Devitt D. 1991. Sampling and interpretation of landscape irrigation water. University of Nevada, EEUU.
- Morris R, Devitt D. 1991. Sampling and interpretation of landscape irrigation water. University of Nevada, EEUU.
- Muñoz E, De la Fuente MM, Rodríguez M. 2002. Toxicidad del boro en las plantas. Encuentros en la Biología, Science Faculty. University of Granada, Spain, Year XI, No. 82.
- Porta J., López M. y Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. (2º ed) Mundi Prensa. Madrid. 849 pp.
- Rodríguez F. 2019. Curso de especialista en manejo de invernaderos con tecnología. Tema 18. El cultivo del tomate. Cartagena, España, 84 pp.
- Roig, A., Romero, M., Lax, A., Fernández, F.G. 1980. Estudio comparativo de métodos de determinación de capacidad de cambio catiónica en suelos calizos. Anales de Edafología y Agrobiología 39, 2021-2032.
- Rouppet B. 2006. Irrigation water: a correlation to soil structure and crop quality? California Fresh Fruit, August 2006, 22–23.
- Sims J. T., 2009. Chapter 6. Recommended Soil Tests for Boron. Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States. USA, 49-54 pp.
- Soil Survey Division Staff. 1993. "Soil survey manual.1993. Chapter 3, selected chemical properties". Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. Archived from the original on 14 May 2011. Retrieved 12 March 2011.
- Soil survey manual. 2017. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. Soil Survey Division Staff.
- Temminghoff J.M. y Houba V.J.G. 2004. Plant analysis procedures. Second edition. Kluwer Academic Publishers, 179 pp.
- Thiagalagam, K. 2000. Soil and plant sample collection, preparation and interpretation of chemical analysis. Australian Contribution to A National Agricultural Research System. Adelaide, Australia, 49 pp.
- Torres A. 2017. Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile, 102pp
- Urbano P. 2001. Tratado de fitotecnia general. Ed. Mundi Prensa. Madrid 895 pp.
- USDA. 1999. Soil Quality Test Kit Guide. United States Department of Agriculture (Ed.). Washington. 82 pp.
- USEPA, 1996. Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Washington, DC.
- Whitlow, R. 1994. Fundamentos de Mecánica de suelos. Editorial CECSA. México. 589 pp.
- LMP, 2011. Análisis Foliare, Laboratorios A-L de México, S.A. 21pp





## ANEJOS

### ANEJO 1. FOTOS



Foto 1. Muestreo inicial de suelos del primer ciclo de cultivo



Foto 2. Muestreo intermedio de suelos del primer ciclo de cultivo





Foto 3. Muestreo intermedio de planta del primer ciclo de cultivo



Foto 4. Muestreo final de suelo y planta del primer ciclo de cultivo





Foto 5. Muestreo inicial de suelos del segundo ciclo de cultivo



Foto 6. Muestreo intermedio de suelos del segundo ciclo de cultivo





Foto 7. Muestreo intermedio de plantas del segundo ciclo de cultivo



Foto 8. Muestreo final de suelos del segundo ciclo de cultivo





Foto 9. Muestreo final de planta del segundo ciclo de cultivo