

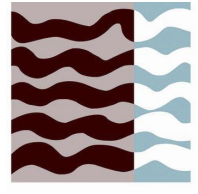


Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



UPCT

Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Agronómica



ETSIA

*Grado en Ingeniería Agroalimentaria  
y de Sistemas Biológicos*

EVALUACIÓN DEL USO DE AGUA MARINA  
DESALINIZADA EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE  
EN INVERNADERO

**Autora:** Fernando Saura Yúfera

**Dirección:** José Alberto Acosta Avilés

**Codirección:** Belén Gallego Elvira

Cartagena, enero de 2019

## INDICE

<b>ABREVIATURAS</b> .....	3
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	5
<b>3.1. Localización de la zona de estudio</b> .....	5
<b>3.2 Diseño experimental</b> .....	5
<b>3.3 Diseño de muestreo y toma de muestras</b> .....	8
<b>3.4. Análisis de laboratorio</b> .....	10
<i>3.4.1 Determinación de las propiedades físico-químicas y concentración de nutrientes del suelo</i> .....	10
<i>3.4.2 Determinación de la concentración de nutrientes en planta</i> .....	10
<b>3.5 Fertirriego</b> .....	11
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	13
<b>4.1 Características y concentración de nutrientes en el agua de riego</b> .....	13
<b>4.2 Efecto del agua de riego en las propiedades físico-químicas y constituyentes del suelo</b> .....	20
<b>4.3 Efecto del agua de riego en la concentración de macronutrientes del suelo</b> .....	24
<b>4.4 Efecto del agua de riego en la concentración de micronutrientes del suelo</b> .....	28
<b>4.5 Efecto del agua de riego en la salinidad y elementos fitotóxicos del suelo</b> .....	31
<b>4.6 Efecto del agua de riego en las propiedades físicas del suelo</b> .....	35
<b>4.7 Efecto del tipo de agua de riego en las concentraciones de nutrientes en planta</b> .....	39
<b>4.8. Valoración económica</b> .....	47
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	50
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	51
<b>ANEXOS</b> .....	54
<b>ANEXO I. Cálculos</b> .....	54
<b>ANEXO II. Fotografías</b> .....	59

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Grado de absorción de las membranas de osmosis inversa. Fuente: Martinez, 2009.....	2
<b>Tabla 2.</b> Valor medio concentración de nutrientes equivalente a nuestra agua base. ...	6
<b>Tabla 3.</b> Aporte de ácidos al tanque .....	6
<b>Tabla 4.</b> Aporte total de sales al sistema de tanques (15.000 L) .....	6
<b>Tabla 5.</b> Composición del agua en T2 y T3 .....	7
<b>Tabla 6.</b> Solución ideal basada en Sonneveld y Straver.....	11
<b>Tabla 7.</b> Aportes de fertilizante para T1 .....	11
<b>Tabla 8.</b> Aportes de fertilizante para T2 .....	12
<b>Tabla 9.</b> Aportes de fertilizante para T3 .....	12
<b>Tabla 10.</b> Cantidad de fertilizante comercial empleado en kg. ....	12
<b>Tabla 11.</b> Costes agua de riego para T1, T2 y T3.....	47
<b>Tabla 12.</b> Costes de fertilizantes para T1, T2 y T3.....	48
<b>Tabla 13.</b> Beneficio neto producción para T1, T2 y T3.....	48
<b>Tabla 14.</b> Ingresos totales para T1, T2 y T3.....	49

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de la finca experimental Anecoop-UAL. Fuente: Google maps .	5
<b>Figura 2.</b> Distribución de las parcelas de ensayo. (EB: Efecto Borde; T1, T2, T3: Tratamientos 1,2 y 3; S: Suelo; H: Hidropónico) .....	8
<b>Figura 3.</b> Concentración pH, C.E, cationes y aniones en el agua de riego para T1, T2 y T .....	14
<b>Figura 4.</b> Concentración de ion Boro para T1, T2 y T3 .....	15
<b>Figura 5.</b> Concentración de ion Mn, Fe, Cu y Zn para T1, T2 y T3.....	16
<b>Figura 6.</b> Concentración pH, C.E, cationes y aniones en el agua de riego para T1, T2 y T3.....	17
<b>Figura 7.</b> Concentración de ion Boro para T1, T2 y T3.....	19
<b>Figura 8.</b> Concentración de ion Mn, Fe, Cu y Zn para T1, T2 y T3.....	20
<b>Figura 9.</b> Evaluación de las propiedades y constituyentes de los suelos para las parcelas de estudio .....	22
<b>Figura 10.</b> Evaluación de las propiedades y constituyentes de los suelos para las parcelas de estudio .....	24
<b>Figura 11.</b> Evolución de las concentraciones de macronutrientes para T1, T2 y T3....	25
<b>Figura 12.</b> Evolución de las concentraciones de macronutrientes para T1, T2 y T3....	28
<b>Figura 13.</b> Evolución de las concentraciones de micronutrientes para T1, T2 y T3. ....	29
<b>Figura 14.</b> Evolución de las concentraciones de micronutrientes para T1, T2 y T3. ....	30
<b>Figura 15.</b> Evolución de salinidad y aniones/ cationes solubles en suelo para T1, T2 y T3.....	32
<b>Figura 16.</b> Evolución de la concentración de Boro en suelo para T1, T2 y T3.....	33
<b>Figura 17.</b> Evolución de salinidad y aniones/ cationes solubles en suelo para T1, T2 y T3.....	34
<b>Figura 18.</b> Evolución de la concentración de Boro en suelo para T1, T2 y T3.....	35

<b>Figura 19.</b> Evolución del porcentaje de sodio intercambiable del suelo para T1, T2 y T3.....	36
<b>Figura 20.</b> Evolución de las propiedades físicas del suelo para T1, T2 y T3.....	37
<b>Figura 21.</b> Evolución del porcentaje de sodio intercambiable del suelo para T1, T2 y T3.....	38
<b>Figura 22.</b> <i>Evolución de las propiedades físicas del suelo para T1, T2 y T3.....</i>	38
<b>Figura 23.</b> Evolución de la concentración de macronutrientes en planta para T1, T2 y T3.....	40
<b>Figura 24.</b> Evolución de la concentración de micronutrientes en planta para T1, T2 y T3.....	41
<b>Figura 25.</b> Evolución de la concentración de elementos fitotóxicos en planta para T1, T2 y T3.....	42
<b>Figura 26.</b> Evolución de la concentración de macronutrientes en planta para T1, T2 y T3.....	44
<b>Figura 27.</b> Evolución de la concentración de micronutrientes en planta para T1, T2 y T3.....	45
<b>Figura 28.</b> Evolución de la concentración de elementos fitotóxicos en planta para T1, T2 y T3.....	46
<b>Figura 29.</b> Rentabilidad de los tratamientos (%).....	49

## ABREVIATURAS

- OI: Osmosis Inversa
- AMD: Agua marina desalada
- AP: Agua de Pozo
- C.I. = Carbono inorgánico
- C.O. = Carbono orgánico
- CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico
- T1, T2, T3: Tratamiento 1,2,3
- P.S.I. = Porcentaje de sodio intercambiable

## RESUMEN

Este trabajo de fin de grado recoge los resultados obtenidos del efecto del uso de agua marina desalinizada tanto sobre las propiedades físico-químicas y físicas del suelo como en la producción de tomate en invernadero, cultivado tanto en hidropónico como en enarenado, en dos ciclos: otoño-invierno y primavera-verano. Para ello se han utilizado agua desalinizada con tres grados de salinidad con el fin de simular tres tratamientos: 100% agua desalinizada; 75% agua desalinizada + 25% agua de pozo; 50% agua desalinizada + 50% agua de pozo. También son objeto de estudio el efecto del agua respecto a la absorción de nutrientes por parte del cultivo, así como una evaluación económica del uso de este tipo de agua en ambos sistemas de cultivo.

Los resultados han mostrado que la absorción de algunos nutrientes por parte del cultivo se ve afectada por la salinidad del tratamiento realizado. De igual modo, se observaron diferencias entre tratamientos sobre el comportamiento de elementos potencialmente fitotóxicos. Los resultados han mostrado que no existen diferencias entre las propiedades físico-químicas del suelo ni para las propiedades físicas evaluadas.

## ABSTRACT

This end-of-degree project collects the results obtained from the effect of the use of desalinated seawater on both the physical-chemical and physical properties of the soil and on the production of greenhouse tomatoes, grown both hydroponically and sanded, in two cycles: autumn-winter and spring-summer. For this, desalinated water with three degrees of salinity has been used in order to simulate three treatments: 100% desalinated water; 75% desalinated water + 25% well water; 50% desalinated water + 50% well water. The effect of water on the absorption of nutrients by the crop, as well as an economic evaluation of the use of this type of water in both cropping systems, are also object of study.

The results have shown that the absorption of some nutrients by the crop is affected by the salinity of the treatment carried out. Similarly, differences between treatments were observed on the behavior of potentially phytotoxic elements. The results have shown that there are no differences between the physical-chemical properties of the soil or for the physical properties evaluated.

# 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso distribuido de manera desigual a lo largo de la superficie terrestre. En el sureste español, y en otros lugares de escasez hídrica, la agricultura es la principal demandante de agua. Durante las últimas décadas se ha intensificado la conversión al regadío y desarrollo de una agricultura más intensiva y con una mayor demanda de recursos. Este fenómeno ha puesto de manifiesto la importancia de maximizar la eficiencia de aplicación en el uso de agua agrícola y la búsqueda de alternativas para su obtención. Algunas de estas alternativas para la escasez son (Martín y Martínez, 2014):

- Incremento en la eficiencia de aplicación y distribución del agua de riego.
- Reutilización de aguas procedentes de uso urbano o industrial.
- Trasferencias y trasvases de zonas con mayores recursos hídricos a otras zonas con menos.
- Desarrollo y aplicación de nuevas soluciones tecnológicas con el fin de incrementar los recursos disponibles.

Una de las alternativas tecnológicas propuesta durante los últimos años ha sido el empleo de agua de desaladora para regadío. Esto supondría una fuente prácticamente inagotable de suministro hídrico en zonas áridas. Aun así, presenta algunos inconvenientes en su uso tales como un mayor gasto energético para su obtención en comparación a otras fuentes (Esteban y García, 2007) o modificaciones en la concentración de nutrientes, especialmente boro, pudiendo llegar a afectar a la estructura del suelo. Esta acumulación desigual de elementos minerales en el suelo se debe a que las membranas de osmosis inversa no filtran por igual todos los iones disueltos (Martín y Martínez, 2014). En *Tabla 1* podemos observar el grado de absorción por parte de las membranas de OI para una planta desaladora con uno o dos etapas de osmosis:

**Tabla 1.** Grado de absorción de las membranas de osmosis inversa. Fuente: Martínez, 2009

<b>IÓN</b>	<b>Planta 1 etapa (%)</b>	<b>Planta 2 etapas (%)</b>
Na <sup>+</sup>	99.8	99.9
Mg <sup>2+</sup>	99.5	99.9
Ca <sup>2+</sup>	99.5	99.9
K <sup>+</sup>	99	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	94.4	99.3

Cl <sup>-</sup>	98.9	99.5
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	99.6	99.9
B	71.1	82.8

Como se puede observar en el proceso de desalación se eliminan la mayoría de los iones disueltos en un porcentaje superior al 99%. Sin embargo, el ion Boro se filtra en un porcentaje menor respecto al resto. Esto hará que posteriormente se deba prestar especial atención a este elemento para evitar su acumulación y fitotoxicidad. Algunos de los problemas asociados al uso agrícola de agua marina desalada (AMD) son:

- Bajas concentraciones de calcio, magnesio y sulfatos: debido a la acción de osmosis inversa el AMD presenta unos valores muy bajos de estos elementos. Bajas concentraciones de calcio y magnesio producen un desequilibrio con el ion sodio pudiendo verse afectada la estructura del suelo. Esto hará que se preste especial atención a la fertirrigación para suplir las carencias nutricionales de nuestra agua (Ben-Gal *et al*, 2009), representando un sobrecoste para el agricultor.
- Elevadas concentraciones de sodio y cloruro: En el agua marina estos iones se encuentran en una concentración muy elevada lo que supone un riesgo para los cultivos debido a su elevada fitotoxicidad. Estos elementos siguen primando en la composición del AMD tras su filtrado por osmosis inversa. La mayoría de los cultivos leñosos tienden a ser más sensibles a elevadas concentraciones de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> mientras que los cultivos anuales no son tan sensibles (Martínez, Martín y Soto, 2015). La interacción de estos también puede producir deficiencias de otros elementos bloqueando su absorción como los nitratos o el potasio.
- Elevada concentración de boro: El Boro es un microelemento necesario para las plantas, pero potencialmente fitotóxico. Se debe controlar su acumulación en el suelo ya que puede provocar problemas de toxicidad a medio-largo plazo.
- Riesgo de sodificación de suelos: Uno de los riesgos asociados al uso agrícola de AMD es el aumento en la concentración de Na<sup>+</sup> y una degradación del suelo. Aparte de los efectos directos por fitotoxicidad, la concentración de Na<sup>+</sup> puede producir efectos adversos en las propiedades físicas del suelo en forma de dispersión de arcilla, dando lugar al deterioro de la estabilidad de los agregados; a la disminución de la conductividad hidráulica del suelo; al aumento de la formación de costras en superficie, incrementando la escorrentía y la erosión del suelo; a la compactación del suelo; y a la disminución de la aireación del suelo (Muyen *et al.*, 2011).

Por otro lado, el AMD presenta unos costes energéticos muy superiores a los costes del agua de trasvase. El coste total de producción en la cuenca del Segura es de 0,6-0,69 €/m<sup>3</sup> mientras que el valor marginal neto del agua de riego en las zonas regables de la costa se sitúa entre 0,51-1,05 €/m<sup>3</sup> (Martínez *et al.*, 2015). No obstante, diferentes estudios han demostrado la viabilidad del uso de AMD en zonas semiáridas como el sureste de España especialmente en su uso combinado con aguas de trasvase.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo perseguido con este trabajo de final de grado es presentar los resultados obtenidos en el ensayo realizado sobre el uso de agua marina desalinizada en el cultivo de tomate plantado tanto sobre sustrato (hidropónico) como en suelo (enarenado) durante dos ciclos de cultivo: otoño-invierno y primavera-verano. Se pretende evaluar su impacto sobre las propiedades físico-químicas del suelo, así como la posible acumulación de elementos fitotóxicos para la planta. También se estudiará el grado de absorción de nutrientes por el cultivo de tomate y se realizará una evaluación económica para evaluar la viabilidad de su uso.

Este objetivo general puede desglosarse como los siguientes objetivos específicos:

- I. Evaluación de las características y la concentración de nutrientes de los tres tipos de agua de riego usada.
- II. Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la evolución de las propiedades físico-químicas, físicas y constituyentes del suelo.
- III. Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la evolución del contenido de macro y micronutrientes del suelo.
- IV. Evaluación del tipo de agua de riego en la evolución de la salinidad y elementos fitotóxicos del suelo.
- V. Evaluación del efecto del tipo de agua de riego en la concentración de nutrientes en el cultivo.
- VI. Evaluación económica del uso de agua marina desalinizada.



## 3. MATERIAL Y MÉTODOS

### 3.1. Localización de la zona de estudio

El cultivo se desarrolla en la provincia de Almería, dentro del término municipal de Níjar. La parcela de estudio se encuentra dentro de las instalaciones del Campo de Prácticas de la Universidad de Almería "Catedrático Eduardo Fernández" de la fundación UAL-Anecoop. La parcela está situada dentro del módulo U8 a una altitud de 90 m. sobre el nivel del mar (Figura 1).



**Figura 1.** Localización de la finca experimental Anecoop-UAL. Fuente: Google maps

### 3.2 Diseño experimental

Para el desarrollo de este experimento se han empleado tres tipos de agua de riego, simulando mezclas de AMD y agua de pozo (AP). Cada uno de estos tipos presenta un grado de salinidad diferente pudiendo diferenciarse tres tipos de tratamientos:

- T1: Agua marina desalinizada con baja salinidad (0,5 dS/m) (100% AMD)
- T2: Agua marina desalinizada con moderada salinidad (1,5 dS/m) (75% AMD + 25 % AP)
- T3: Agua marina desalinizada con elevada salinidad (3 dS/m) (50% AMD + 50% AP)

Esta conductividad se ha visto ligeramente incrementada al añadir la fertirrigación necesaria para el desarrollo del cultivo de tomate.

Las características de nuestra agua de riego se han determinado como la media de los valores analizados en la Comunidad de Usuarios de la Comarca de Nijar en el año 2017. Estas características son:

**Tabla 2.** Valor medio concentración de nutrientes equivalente a nuestra agua base.

2017	dS/m CE	Concentración, mmol/L					Concentración, mmol/L				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
<b>Media</b>	0,5	0,01	0,06	0	0,83	3,66	0,09	0,32	0,18	3,48	0

Para la preparación del agua necesaria para T2 y T3 se crea en el invernadero un agua de muy elevada C.E. Para ello se disponen de tres tanques de 5000 L cada uno donde se hace el aporte de sales necesario para conseguir la C.E. deseada. Entre los tres tanques se tendrá un volumen de 15.000 L de agua salina cuya conductividad teórica será de 7,5 dS/m. La preparación de estos tanques se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Llenado de los tanques a media capacidad mediante bomba soplante.
2. Aporte de los ácidos para la disolución del carbonato cálcico

**Tabla 3.** Aporte de ácidos al tanque

Ácido	Volumen en 15000 L (L)
Ácido sulfúrico	0,5
Ácido clorhídrico	0,5

3. Aporte de las sales totales (*Tabla 4*)
4. Se llenan los tanques hasta completar su capacidad con agua desalada hasta los 15.000 L.

Los aportes de sales al sistema han sido:

**Tabla 4.** Aporte total de sales al sistema de tanques (15.000 L)

Concentración, mmol/L	Concentración, mmol/L
-----------------------	-----------------------

		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
<b>Agua desalinizada</b>		0,01	0,06	0	0,83	3,66	0,09	0,32	0,18	3,48	0
<b>Agua final teórica</b>		0	10	0	0	15	0	20	10	15	0
<b>Aportes teóricos</b>		-0,01	9,94	0	-0,83	11,34	-0,09	19,68	9,82	11,52	0
<b>CO<sub>3</sub>Ca</b>	29,5 Kg				19,68			19,68			
<b>SO<sub>4</sub>Mg</b>	36,3 Kg		9,82						9,82		
<b>ClNa</b>	10,1 Kg					11,52				11,52	
<b>Aportes reales</b>		0	9,82	0	19,68	11,52	0	19,68	9,82	11,52	0
<b>Agua final real</b>		0,01	9,88	0	20,51	15,18	0,09	20	10	15	0
<b>CE teórica (dS/m)</b>	7,5										

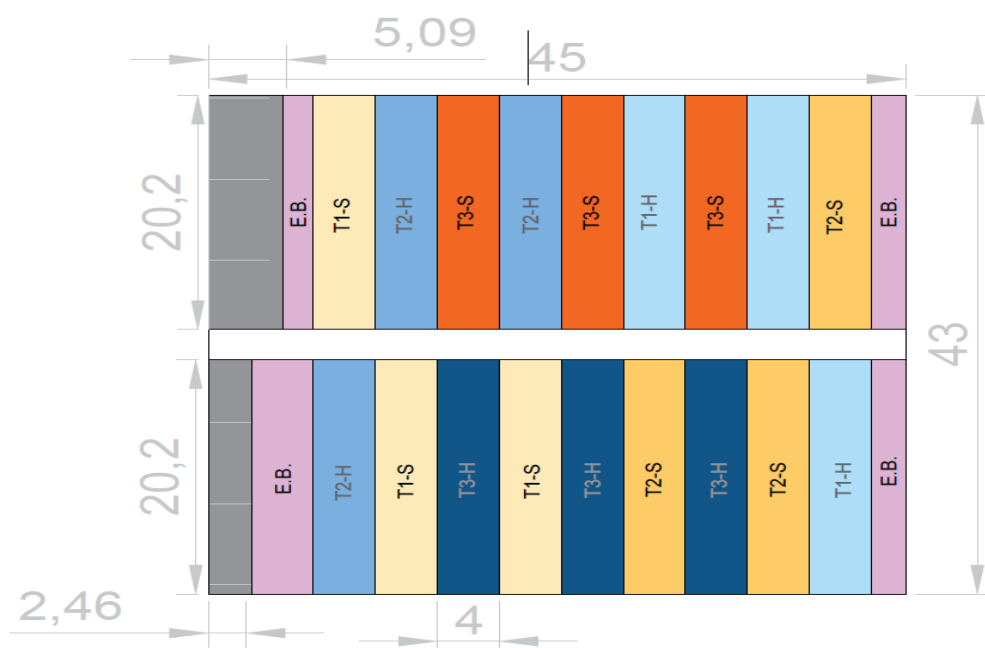
Para conseguir el agua resultante de los tratamientos T2 y T3 se mezclará una cantidad proporcional de los tanques de alta salinidad con agua marina desalada. Los cálculos pueden consultarse en el *ANEXO I. Cálculos* y servirá para la programación de una bomba dosificadora que se programa en función del tratamiento deseado. Según estos cálculos la proporción de agua que debemos añadir del tanque de alta salinidad para obtener nuestro T2 de 1,5 dS/m es de un 16,64%. Para alcanzar la conductividad requerida para nuestro T3 es necesario ajustar la bomba dosificadora al 55,44%. Finalmente, la composición final de las dos aguas ha sido:

**Tabla 5.** Composición del agua en T2 y T3

Tratamiento	dS/m C.E	Concentración, mmol / L					Concentración, mmol / L				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
<b>T2</b>	1,5	0.01	1.46	0	3.64	5.31	0.09	3.13	1.58	5.13	0
<b>T3</b>	3,0	0.01	3.56	0	7.85	7.77	0.09	7.34	3.68	7.59	0

La distribución de los tratamientos en el invernadero se puede ver en la *Figura 2* donde la parcela de estudio se encuentra dividida en dos zonas separadas por un pasillo

central. El diseño experimental distribuye la superficie en 18 subparcelas, 9 de ella destinadas a cultivo en suelo y 9 de ellas a cultivo en hidropónico. De las 9 subparcelas de cada sistema de cultivo 3 de ellas se usaron para T1 (agua marina desalinizada con baja salinidad), 3 de ellas para T2 (agua marina desalinizada con moderada salinidad) y otras 3 para T3 (agua marina desalinizada con elevada salinidad).



**Figura 2.** Distribución de las parcelas de ensayo. (EB: Efecto Borde; T1, T2, T3: Tratamientos 1,2 y 3; S: Suelo; H: Hidropónico)

El primer ciclo de nuestro cultivo se desarrolla entre el 9 de septiembre de 2019 al 12 de febrero de 2020, mientras que el segundo ciclo de cultivo comprende desde el 6 de marzo al 8 de julio de 2020.

### 3.3 Diseño de muestreo y toma de muestras

- Diseño de muestreo de suelo

Se han realizado tres muestreos dentro de cada ciclo de cultivo. El primero de ellos se realizó coincidiendo con la plantación, otro intermedio a los 75 días de cultivo y un último muestreo durante la recolección.

En cada muestreo se tomaron tres submuestras aleatoriamente seleccionadas en cada parcela de suelo. Estas tres submuestras por parcela fueron mezcladas y

homogeneizadas entre sí para obtener una muestra compuesta representativa del total de la parcela.

Antes de iniciar el muestreo se procedió a retirar la capa de enarenado propia del cultivo bajo invernadero en la zona de estudio, comenzando el muestreo en el suelo donde se plantó el cultivo de tomate. Los muestreos se realizaron con barrena a dos profundidades, una de 0-15 cm y otra de 15-30 cm. Se obtuvieron 2 submuestras de cada parcela, con dos profundidades diferentes, sumando un total de 18 submuestras por muestreo. Esta experiencia tuvo lugar 3 veces por ciclo dando un total de 54 muestras de suelo por ciclo.

Con el objetivo de determinar la conductividad hidráulica del suelo se tomó una muestra superficial inalterada de cada parcela mediante un cilindro de 5cm de diámetro y 5 cm de altura.

- Diseño de muestreo de planta

Se realizó un muestreo de planta intermedio para cada ciclo de cultivo. Estos muestreos se realizaron a los 75 días de cultivo tanto en plantas en hidropónico como en plantas en suelo. Consistió en la recolección de entre 15-20 hojas de entre 8-12 plantas por cada subparcela. Por tanto, cada muestra es el resultado de mezclar hojas recolectadas en la misma parcela obteniendo así 18 muestras por muestreo para cada ciclo. Con ello se pretende comparar los resultados obtenidos para los tres tratamientos en cada uno de los sistemas de cultivo.

- Diseño de muestreo de agua

Una vez por semana se realizó un seguimiento de la concentración de macronutrientes en el agua de riego mediante el uso de sondas portátiles. La fertirrigación fue adecuada al cultivo en base de los resultados obtenidos. Además, mensualmente se llevaron a cabo muestreos tomados directamente de los goteros en viales de 500 mL. Se analizaron posteriormente en el laboratorio el agua de los goteros de suelo y el de los goteros de hidropónico.

### **3.4. Análisis de laboratorio**

#### *3.4.1 Determinación de las propiedades físico-químicas y concentración de nutrientes del suelo*

Una vez las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio se secaron dentro de una estufa con ventilación forzada a 30°C durante 48-72 horas hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente estas muestras fueron tamizadas con tamiz de 2 mm de diámetro de luz y una fracción de suelo molida en mortero de ágata durante 2-3 minutos.

Los análisis físico-químicos realizados para las muestras de suelo fueron:

- 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*

Las hojas una vez llevadas a laboratorio fueron lavadas con agua desionizada y secadas en estufa de aire forzado a 35°C durante 48-72 horas. Para poder determinar la humedad de la muestra se hizo un pesado en húmedo y

posteriormente un pesado en seco de la muestra. Por último, la muestra fue triturada y homogeneizada para su posterior 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).

### 3.5 Fertirriego

Para el cultivo de tomate la solución ideal elegida para aportar en el fertirriego ha sido la de Sonneveld y Straver (1994):

**Tabla 6.** Solución ideal basada en Sonneveld y Straver.

CE dS/m	Macronutrientes, mM							Micronutrientes $\mu\text{M}$					
	pH	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
2	5,8	10.25	1.5	1.25	7		1	15	10	0.75	5	30	0.5

En este estudio al tener tres tipos de tratamiento diferente, se ajustará la fertirrigación en base al agua de riego empleada. Por tanto, la solución ideal se verá modificada en los casos donde el agua de riego produzca un aporte igual o superior del ión. Los cálculos se han realizado en base a Urrestarazu (2004) (Tablas 7-9):

#### Tratamiento 1

**Tabla 7.** Aportes de fertilizante para T1

	Aniones (mmol / L)					Cationes (mmol / L)					C.E. dS/m
	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	
Agua de riego	0.01	0	0.06	0.83	3.66	0	0.09	0.32	0.18	3.48	0.5
Disolución tipo	10.5	1.5	1.25			0.5	7	3.75	1		
<b>A aportar</b>	10.49	1.5	1.19			0.5	6.91	3.43	0.82		2.2

· Tratamiento 2

**Tabla 8.** Aportes de fertilizante para T2

	Aniones (mmol / L)					Cationes (mmol / L)					C.E. dS/m
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Agua de riego	0.01	0	1.46	3.64	5.31	0	0.09	3.13	1.58	5.13	1.5
Disolución tipo	10.5	1.5	1.25			0.5	7	3.75	1		
<b>A aportar</b>	10.49	1.5	0			0.5	6.91	0.62	0		2.5

· Tratamiento 3

**Tabla 9.** Aportes de fertilizante para T3

	Aniones (mmol / L)					Cationes (mmol / L)					C.E. dS/m
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Agua de riego	0.01	0	3.56	7.85	7.77	0	0.09	7.34	3.68	7.59	3
Disolución tipo	10.5	1.5	1.25			0.5	7	3.75	1		
<b>A aportar</b>	10.49	1.5	0			0.5	6.91	0	0		3.5

El sistema de abonado está compuesto por 4 tanques de fertilizante de 200L cada uno (Tanque A, B, C y D), un tanque de 200L para el ácido y un equipo Nutricompact Columns. Como se puede apreciar en la *Tabla 10*, la fertirrigación es adaptada a las características del agua de riego presentado diferencias de aporte entre tratamientos. Los fertilizantes comerciales elegidos y la cantidad que se aportará de cada uno de estos han sido:

**Tabla 10.** Cantidad de fertilizante comercial empleado en kg.

g / L	T1	T2	T3
<b>Ácido fosfórico 85%</b>	0,0086	0,1242	0,2167
<b>Nitrato cálcico 15,5% N, 27% CaO</b>	0,5643	0,5628	0,5039
<b>Nitrato potásico (13-0-46)</b>	0,2872	0,5933	0,6713
<b>Nitrato amónico 33,5% N</b>	0	0	0,0043
<b>Sulfato potásico</b>	0,1799	0	0
<b>Fosfato monopotásico (0-51-34)</b>	0,2518	0,1154	0,0063
<b>Nitrato de magnesio 11% N, 15,7% MgO</b>	0,434	0,0373	0
<b>Cloruro de calcio</b>	0,11	0	0

Estas cantidades han sido empleadas para el cultivo en hidropónico. En el caso del cultivo en suelo la fertilización se redujo en un 25%.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características y concentración de nutrientes en el agua de riego

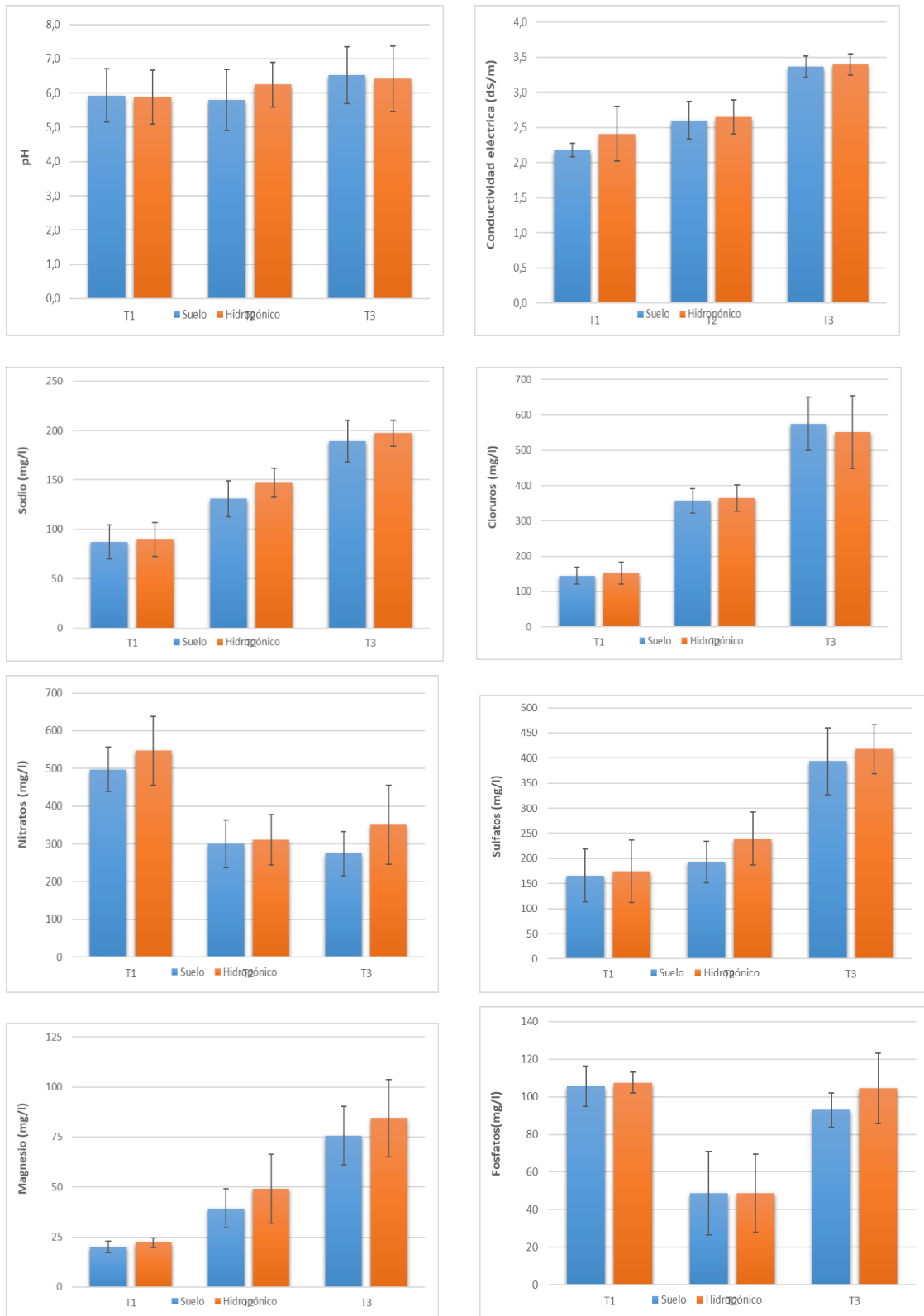
#### Primer ciclo (septiembre 2019 – febrero 2020)

En este apartado se analizan los parámetros relativos al agua de riego empleada. En la *Figura 3* se puede observar los valores de pH, conductividad eléctrica y concentración de aniones y cationes que se han aplicado, tanto al cultivo en hidropónico como al suelo, durante todo el ciclo.

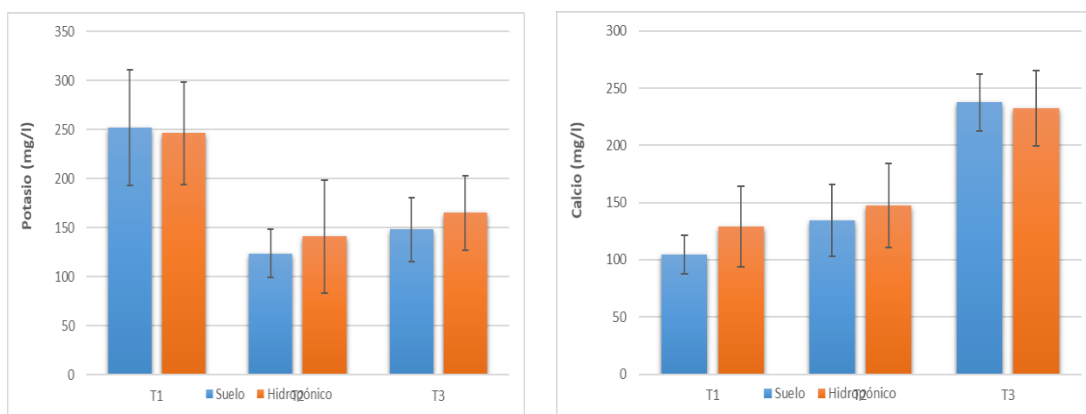
El pH del agua de riego interesa mantenerlo en valores cercanos a la acidez (entre 6-7) para favorecer la absorción de nutrientes por parte del cultivo. Como observa en la *Figura 3* el pH de los tres tratamientos es cercano a 6 con ligeras variaciones entre estos. Se puede apreciar que el pH en T1 de ambos cultivos y T2 en suelo es moderadamente ácido mientras que en T2 en hidropónico y T3 en ambos llega a ser ligeramente ácido (SSDS 1993).

Respecto a la salinidad del agua de riego se vio incrementada tras la adición del abonado (apartado 3.5 *Fertirrigación*) para cada uno de los tratamientos (*Figura 3*). El incremento en la conductividad observado en los diferentes tratamientos ha sido de 2,2 dS/m en el T1, 2,6 dS/m en el T2 y 3,4 dS/m para T3. Aunque el tomate es un cultivo tolerante a la salinidad, presenta una disminución en la producción a partir de una C.E. de 1,7 dS/m y llegando a reducir en un 25% su producción con un agua de 3,4 Ds/m (FAO 1987).

En cuanto a las concentraciones de elementos potencialmente fitotóxicos se debe prestar especial atención a los cloruros y el sodio. El cultivo de tomate se considera moderadamente sensible a la presencia de cloruros, con una tolerancia entre 178 – 355 mg/L (ANZEEC, 2000) pudiendo provocar valores superiores daños de fitotoxicidad. Según los resultados obtenidos se puede observar que para el tratamiento T1 la concentración de cloruros se encuentra cercana a un valor de 145 mg/L por debajo del nivel de tolerancia y, por tanto, sin provocar daño en el cultivo. El tratamiento T2 presenta un valor alto de 360 mg/L y en T3 un valor alto de 560 mg/L, por lo que podría ocasionar cierto nivel de toxicidad (*Morris y Devitt, 1991*). Respecto al sodio los tres tratamientos presentan un valor medio, entre 70-2110 mg/L, en cuanto a su concentración (*Morris y Devitt, 1991*).



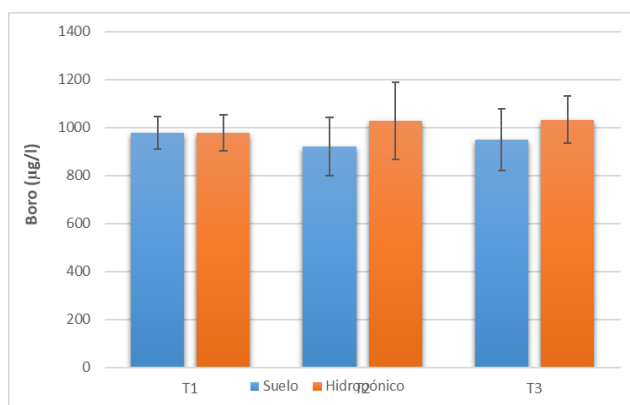
**Figura 3.** Concentración pH, C.E, cationes y aniones en el agua de riego para T1, T2 y T3



**Figura 3.** Concentración, ph ... (continuación)

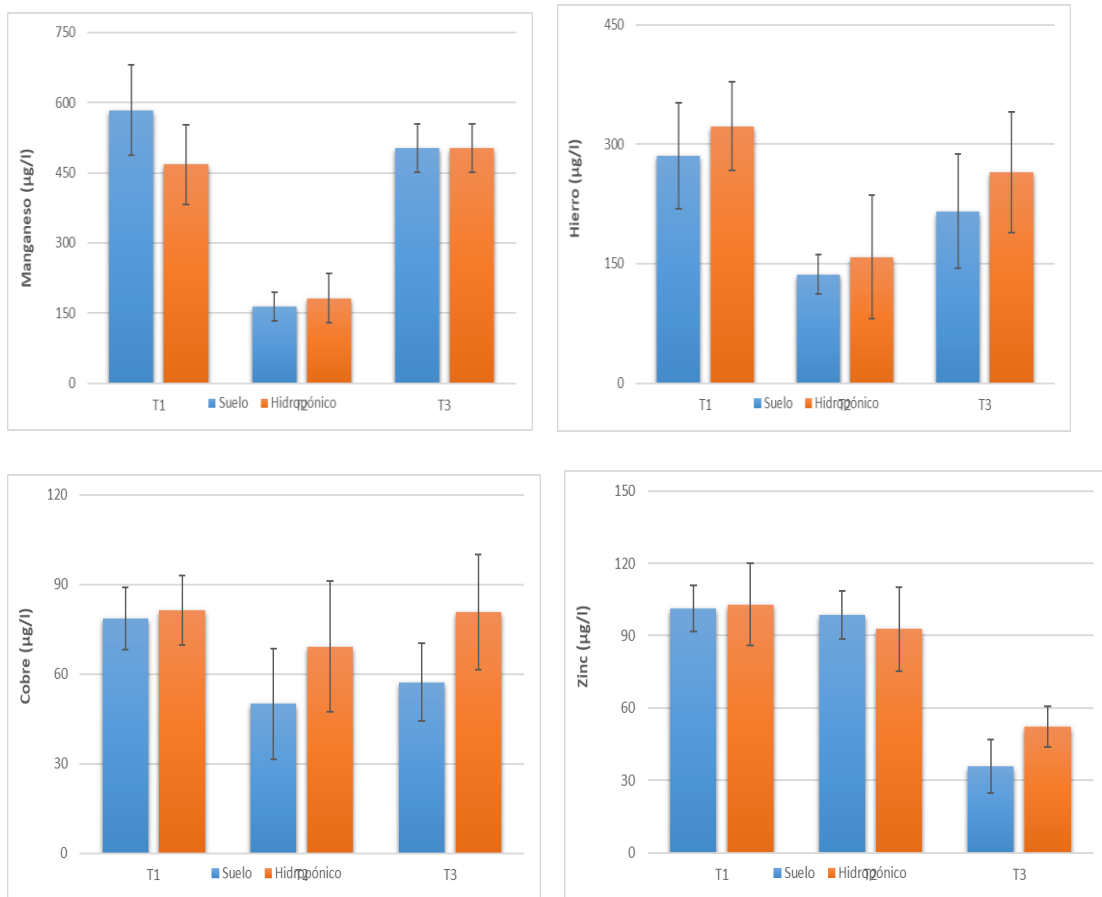
A continuación, se analizarán las concentraciones del ion boro en los diferentes tratamientos (*Figura 4*). Debido al origen del agua de riego y al proceso de osmosis inversa se debe prestar especial atención a las acumulaciones de este elemento, ya que no se filtra de manera completa en el proceso de desalación. La acumulación de boro en el suelo puede llegar a causar daño tanto en plantas arbóreas como a plantas anuales. Algunos síntomas son el amarilleamiento y sequedad en los tejidos de las hojas más antiguas de la planta (Goldberg, 1993).

En cuanto al rango de tolerancia al boro del cultivo hay diferentes clasificaciones según diversos autores. Mass (1984) indica que el tomate es un cultivo sensible al boro cuyo rango óptimo estaría entre 0,5-0,75 mg/L, por su parte, el USDA Handbook 60 lo clasifica como tolerante con valores entre 4-6 mg/L y otros autores como Eaton (1935) como semitolerante con valores entre 1,25-2,5 mg/L. En el caso de estudio presenta una concentración entre 0,97-1,03 mg/L y no ha presentado síntomas de toxicidad por lo cual se puede considerar al cultivo de tomate como semitolerante.



**Figura 4.** Concentración de ion Boro para T1, T2 y T3

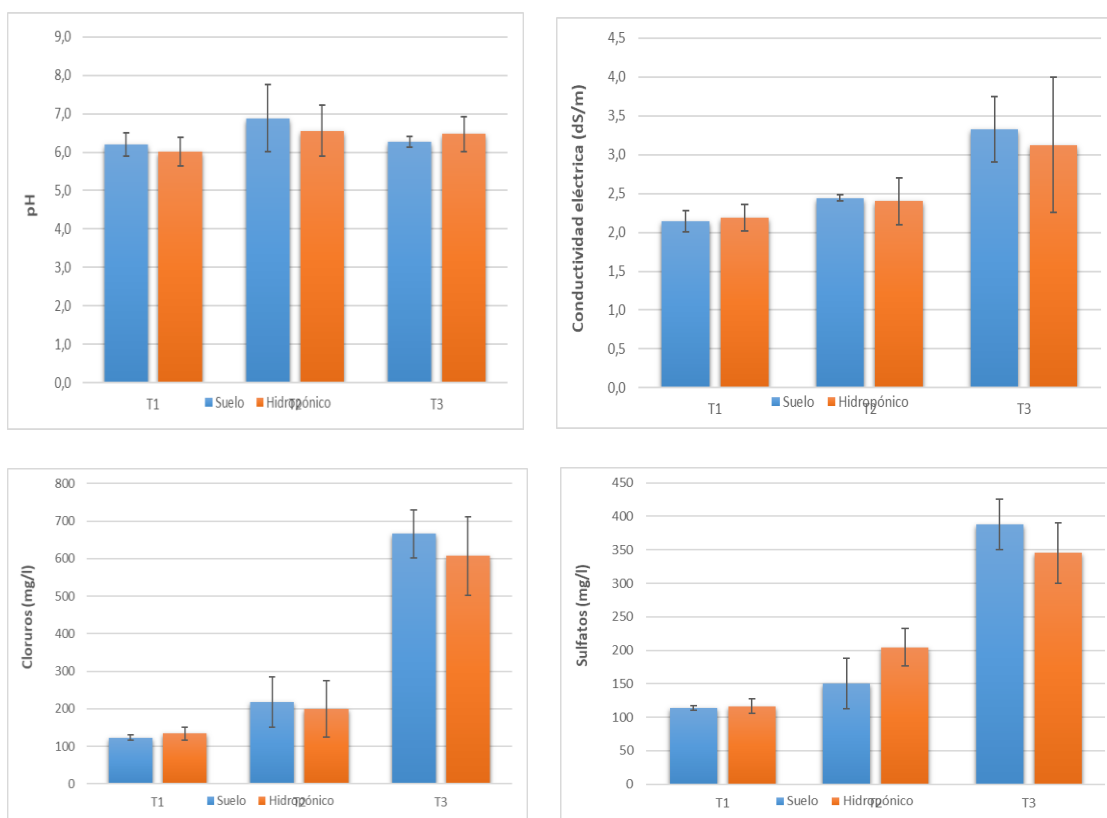
En cuanto a la concentración de micronutrientes en el agua de riego (Figura 5) se aprecian diferencias significativas entre los tres tratamientos. Sería aconsejable que en la fertirrigación se corrigieran e igualaran las cantidades de micronutrientes entre tratamientos para que no haya problemas en la absorción de estos. En el caso del manganeso (Mn) y en el hierro (Fe) la mayor concentración se encuentra en el T1 seguido de T3, pudiendo apreciar grandes diferencias respecto a T2. Respecto al cobre (Cu) sigue siendo T1 el tratamiento donde mayor concentración se alcanza, pero con menor diferencia entre los tratamientos T2 y T3. Por último, la concentración de zinc (Zn) en los tratamientos T1 y T2 se iguala mientras que en T3 se produce un gran descenso. En general se puede observar una mayor concentración en los tratamientos aplicados en hidropónico, pero sin diferencias significativas.



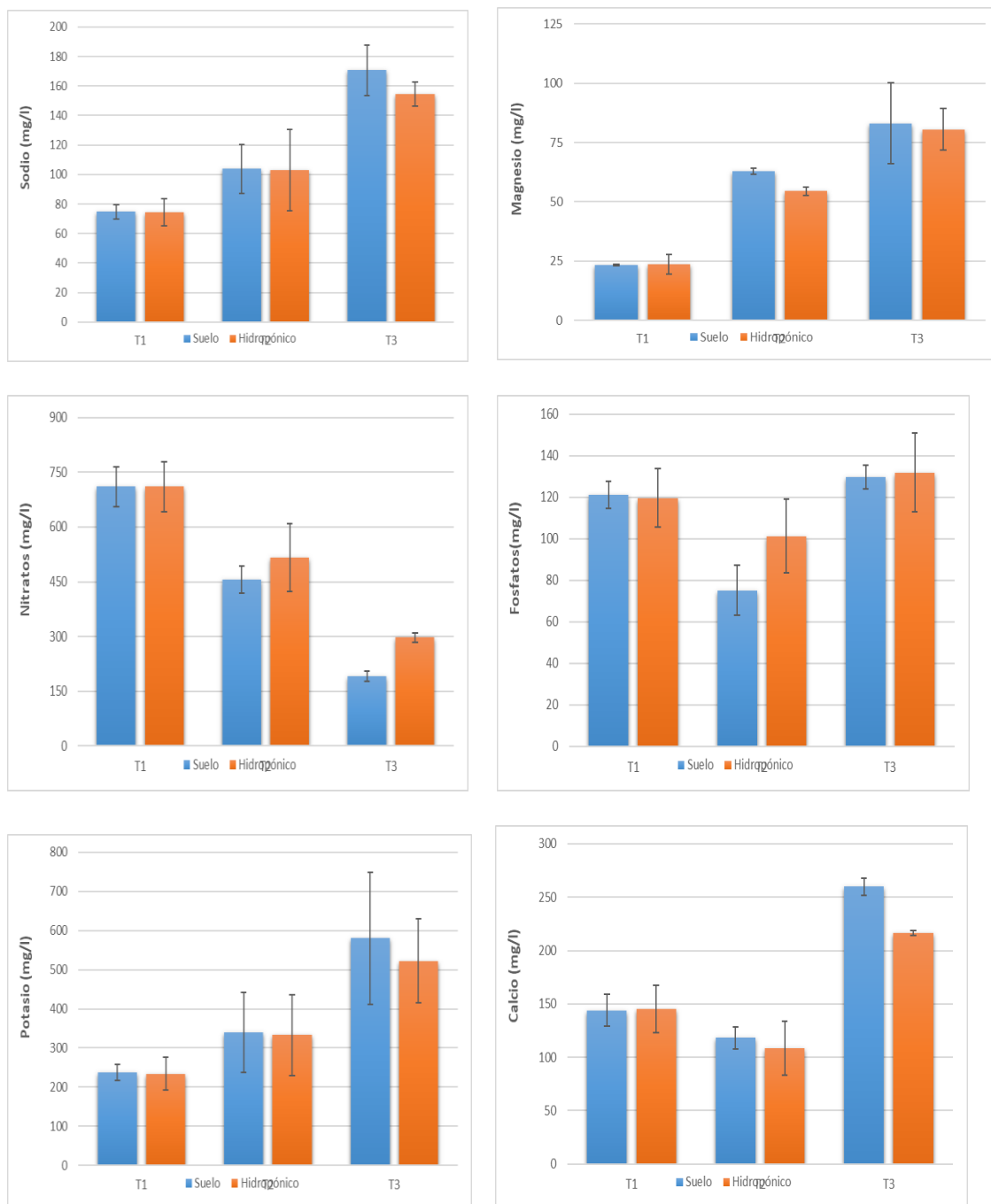
**Figura 5.** Concentración de ion Mn, Fe, Cu y Zn para T1, T2 y T3.

### Segundo ciclo (marzo 2020- julio 2020)

Al igual que en el primer ciclo del cultivo el pH se mantiene en valores ligeramente ácidos (SSDS 1993) con valores entre 6,04-6,88 según el tratamiento y tipo de suelo. Como se puede observar en la *Figura 6* la salinidad entre tratamientos se ve aumentada principalmente por el aporte de cloruro sódico y sulfato magnésico. El incremento en la conductividad ha sido de 2,17 dS/m para el tratamiento 1, de 2,4 dS/m para T2 y un valor de 3,3 dS/m para T3. La adición de cloruro sódico y sulfato magnésico también tiene como consecuencia un incremento en la concentración de iones cloruro, magnesio, sulfatos y sodio en el agua de riego. La concentración sigue una tendencia ascendente con los tres tratamientos.



**Figura 6.** Concentración pH, C.E, cationes y aniones en el agua de riego para T1, T2 y T3.



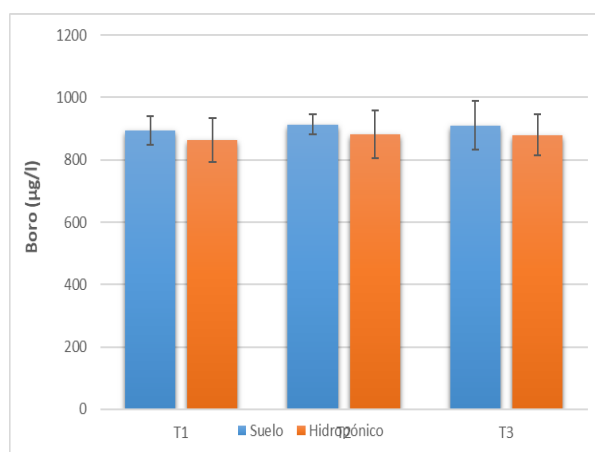
**Figura 6.** Concentración, pH ... (continuación)

Recordando que nuestro cultivo presenta una tolerancia entre 178 – 355 mg/L (ANZECC, 2000) a la concentración de cloruros podemos observar una tendencia similar al primer ciclo. Pese a que las concentraciones en T1 y T2 se han visto ligeramente disminuidas (125 mg/L y 210 mg/L) sus valores siguen siendo suficientemente altos como para provocar daños por fitotoxicidad. En el tratamiento 3 observamos un incremento respecto al primer ciclo alcanzando un valor superior a los 600 mg/L muy por encima del umbral del tomate. Respecto al sodio y al igual que en el primer ciclo los

tres tratamientos presentan un valor medio, entre 70-210 mg/L, en su concentración (Morris y Devitt, 1991).

En el caso de otros iones se ha reducido la diferencia de concentración que había en el tratamiento anterior entre cultivo en suelo y en hidropónico ya no siendo siempre este último donde se encuentran las mayores concentraciones. Cada elemento presenta una tendencia propia ajustada al programa de fertirrigación. Se recomienda incrementar la concentración de nitratos para T3 con el fin de reducir la diferencia entre tratamientos. Se observa así un incremento en la concentración de fosfatos respecto al primer ciclo que sigue la misma tendencia con una bajada en el tratamiento 2. En el caso del potasio se observa una elevada concentración en T3 muy por encima de los niveles alcanzados en el ciclo anterior por lo que se recomienda bajarlos.

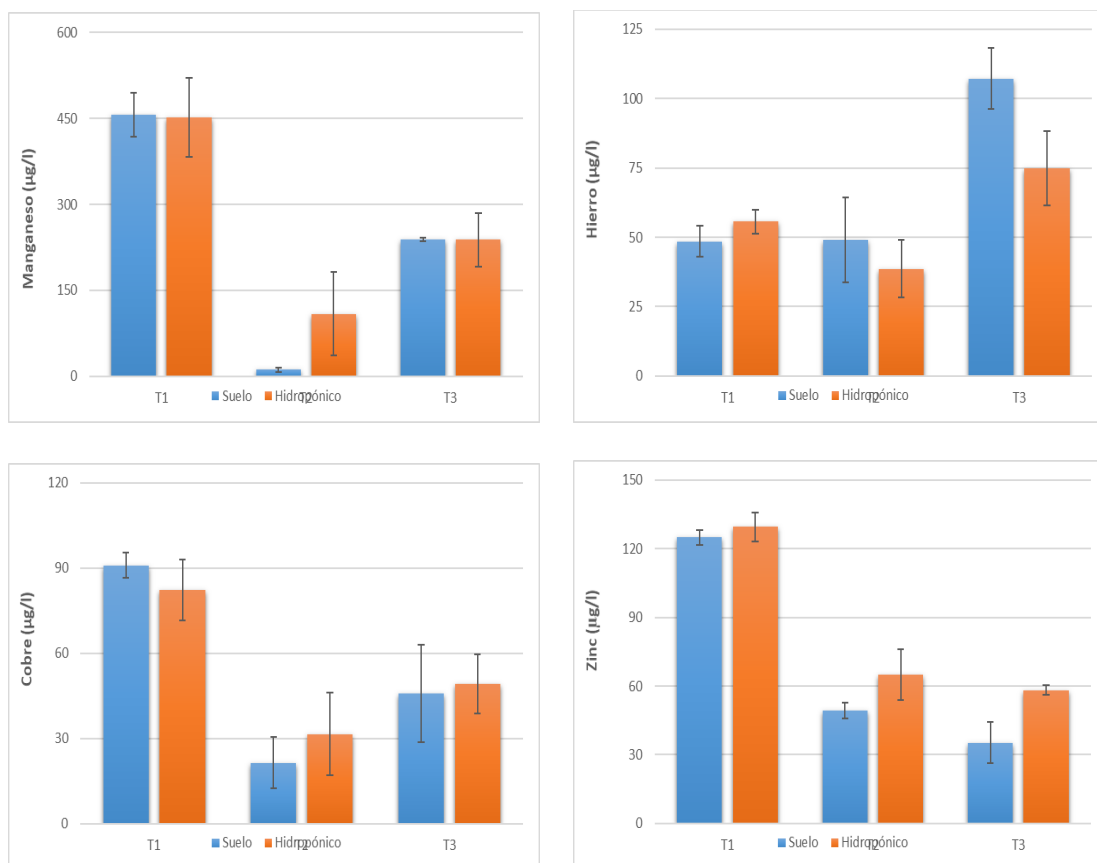
En la *Figura 7* se puede observar los niveles de concentración del ion Boro para los tres tratamientos. Como se ha indicado anteriormente, el cultivo de tomate es semitolerante al boro con una tolerancia entre 1,25-2,5 mg/L (Eaton, 1935) por tanto, no presentará toxicidad para este elemento. Se ha producido una ligera reducción respecto al aporte en el primer ciclo siendo 0,89 mg/L el valor medio de la concentración en los tres tratamientos presentando gran homogeneidad entre estos. Finalmente indicar que la concentración en el agua destinada a cultivo en suelo es ligeramente superior que en hidropónico.



**Figura 7.** Concentración de ion Boro para T1, T2 y T3.

Respecto a la concentración de micronutrientes (*Figura 8*) se observan diferencias importantes entre los diferentes tratamientos. En el caso del manganeso

(Mn) se produce una reducción general de las concentraciones respecto al primer ciclo y una reducción casi total en T2. Se observa también una reducción en la concentración respecto al primer ciclo de otros elementos como hierro (Fe) y cobre (Cu). Se recomienda vigilar la fertirrigación para evitar desajustes nutricionales entre tratamientos ya que en teoría todos los tratamientos deberían recibir la misma cantidad de microelementos.



**Figura 8.** Concentración de ion Mn, Fe, Cu y Zn para T1, T2 y T3.

## 4.2 Efecto del agua de riego en las propiedades físico-químicas y constituyentes del suelo

Primer ciclo (septiembre 2019 – febrero 2020)

En este apartado se analizarán los resultados obtenidos sobre las propiedades y constituyentes del suelo a dos profundidades para cada tipo de tratamiento.



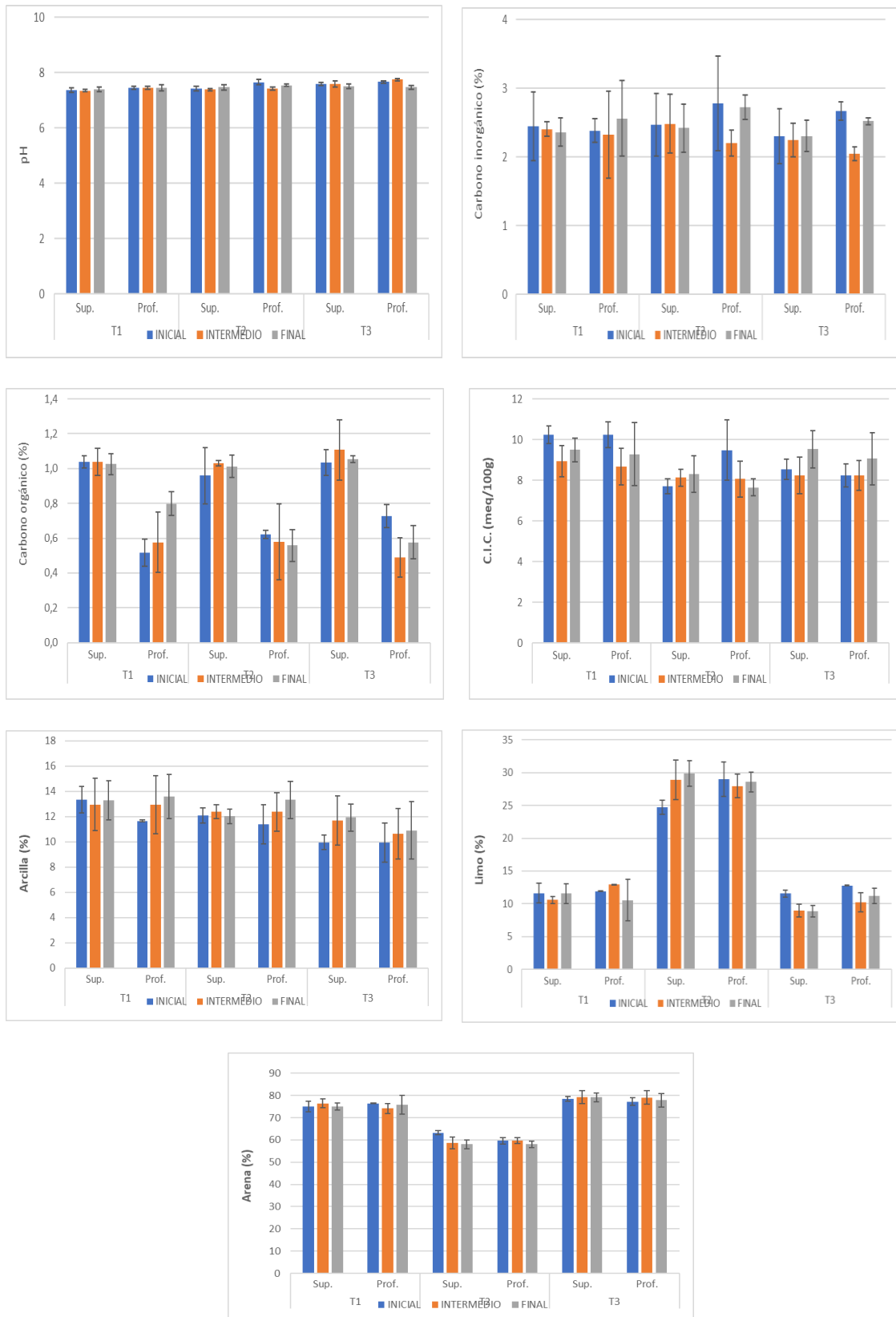
Como se puede observar en la *Figura 9* el pH del suelo de invernaderos se mantiene de manera prácticamente constante entre los tratamientos y profundidades. Se mantiene en un nivel ligeramente básico (SSDS 1993) con un valor medio de  $\approx 7,5$ . A pesar de que el pH óptimo para la absorción de nutrientes por parte del cultivo de tomate se encuentra entre 6-6,8 (Martinez S., 2007) se obtienen importantes rendimientos bajo invernadero a valores superiores. Este valor se debe manejar y controlar mediante la fertirrigación.

Respecto al carbono inorgánico se puede observar un valor medio de 2,43% para todos los tratamientos. La principal forma de carbono inorgánico son los carbonatos por lo cual el contenido determinará su clasificación. Para un valor medio de 2,43% el contenido de carbonatos sería de un 20,25%, lo que está clasificado como un nivel alto de carbono inorgánico (Urbano 2001).

En el caso del carbono orgánico (C.O.) presente en el suelo se encuentra una mayor concentración en superficie que en profundidad. Los valores de C.O. están en torno a un valor medio de  $\approx 1\%$  en superficie y valores cercanos a  $\approx 0,6\%$  en profundidad lo que está catalogado como un contenido muy bajo (Porta *et al.*, 1999). Se observan diferencias entre superficie y profundidad, pero apenas se observan diferencias entre los diferentes tratamientos por lo que se puede concluir que el contenido de carbono orgánico no se ve afectado por el agua de riego usada si no por las características del suelo y la aplicación de enmiendas orgánicas en la creación del enarenado.

Respecto a los valores presentes en las parcelas respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se puede observar una homogeneidad entre tratamientos. Estos valores van desde muy bajos ( $< 10$  meq/100g) a bajos (10-20 meq/100g) en las parcelas de estudio (Thiagalingam, 2000).

La textura de los suelos viene determinada por el contenido de arcilla, arena y limos presente en las muestras. En la *Figura 9* se puede observar el contenido de cada uno para las diferentes parcelas de estudio donde se aprecia que las parcelas destinadas al tratamiento 1 y el tratamiento 3 presentan una textura areno-francosa mientras que en el tratamiento 2 presentan una textura franco-arenosa (FAO 1998).

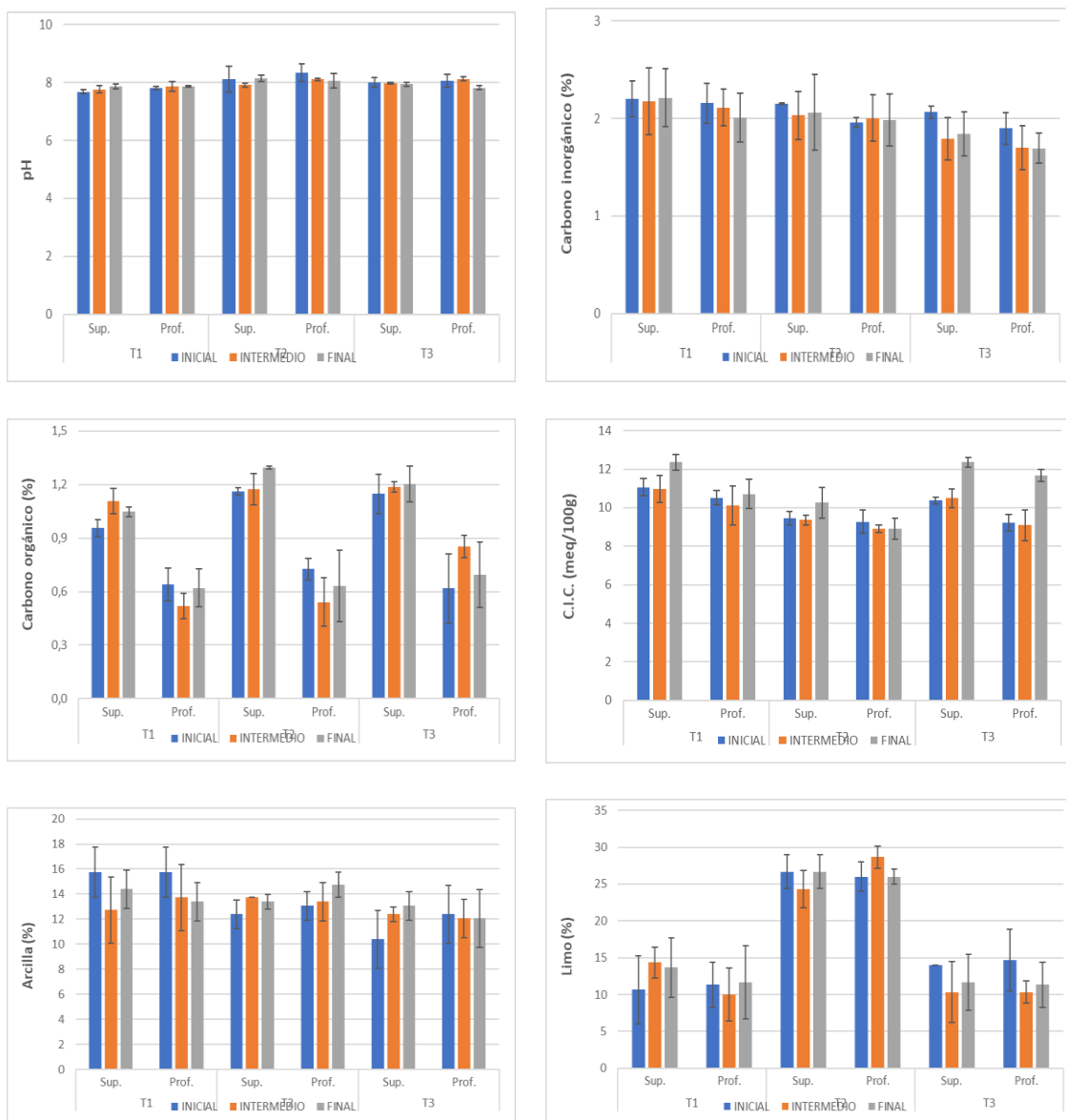


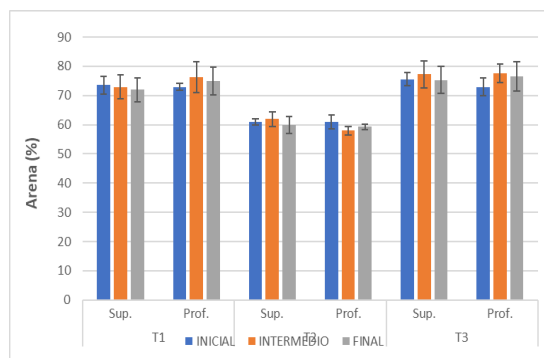
**Figura 9.** Evaluación de las propiedades y constituyentes de los suelos para las parcelas de estudio

## Segundo ciclo (marzo 2020- julio 2020)

En este ciclo se observa un ligero aumento en el pH de los suelos respecto al primer ciclo. El valor medio para los diferentes tratamientos se encuentra en torno a 8 considerado como moderadamente alcalino (SSDS 1993) habiendo una gran homogeneidad entre tratamientos y parcelas durante todo el ciclo (Figura 10).

En el caso del carbono inorgánico el contenido medio de este para los diferentes tratamientos es de un 2%. Como la principal forma del carbono inorgánico son los carbonatos se determinó el contenido de carbonatos presentes siendo este de un 16,7% lo que representa un valor normal de carbono inorgánico en el suelo de nuestras parcelas (Urbano 2001). Finalmente destacar que se observa una disminución en el contenido de carbono inorgánico respecto al ciclo anterior.





**Figura 10.** Evaluación de las propiedades y constituyentes de los suelos para las parcelas de estudio

Respecto al carbono orgánico podemos observar cómo continúa la tendencia a una mayor acumulación en las capas superficiales respecto al suelo en profundidad. Se observan valores entorno a  $\approx 1,1\%$  en superficie y valores entorno  $\approx 0,6\%$  en profundidad. Estos valores están clasificados como muy bajo contenido en C.O. (Porta et al 1999). El contenido de este viene determinado en mayor medida por las características del suelo que por el tratamiento dado.

Como se observa en el primer ciclo la capacidad de intercambio catiónico y la textura son dos propiedades del suelo que no se ven afectadas por el tratamiento. La CIC presenta valores de muy bajos a bajos (Thigalingam 2000) y la textura de las parcelas presenta unos valores similares a los obtenidos en el ciclo anterior donde T1 y T3 presentan una textura areno-francosa y T2 una textura franco-arenosa.

### **4.3 Efecto del agua de riego en la concentración de macronutrientes del suelo**

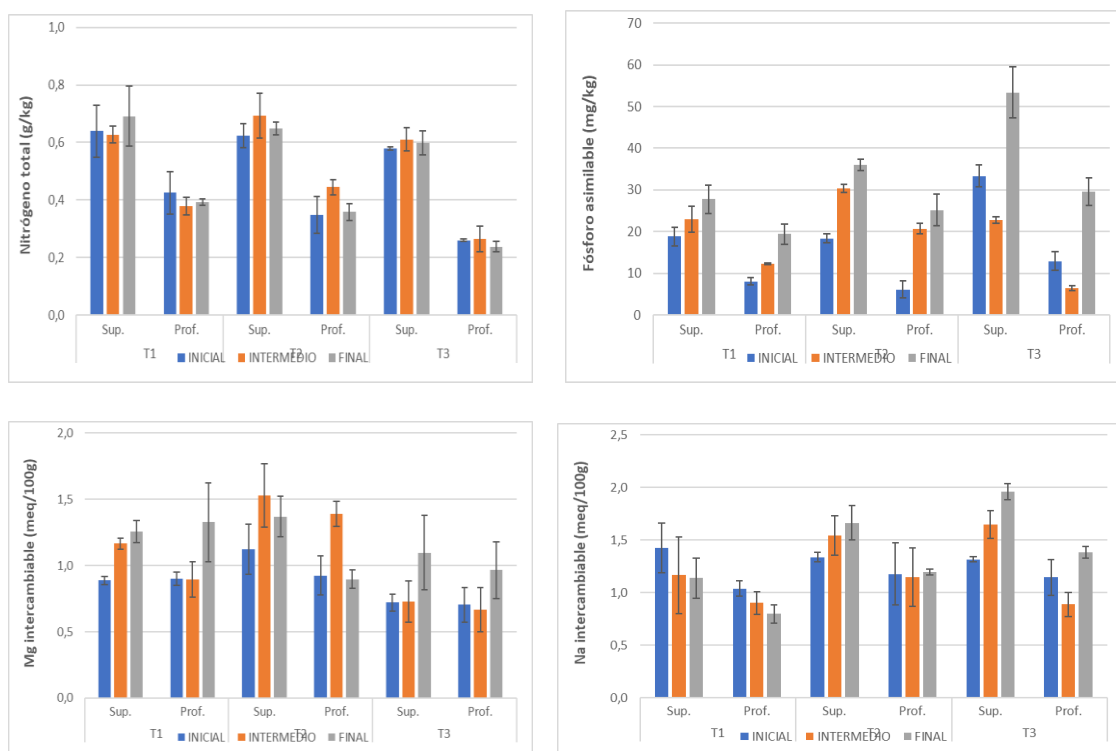
#### Primer ciclo (septiembre 2019 – febrero 2020)

En este apartado se tratan los resultados correspondientes a las concentraciones de los macroelementos (N, P, K, Ca, Mg y Na) presentes en el suelo para cada tratamiento en superficie y profundidad (*Figura 11*).

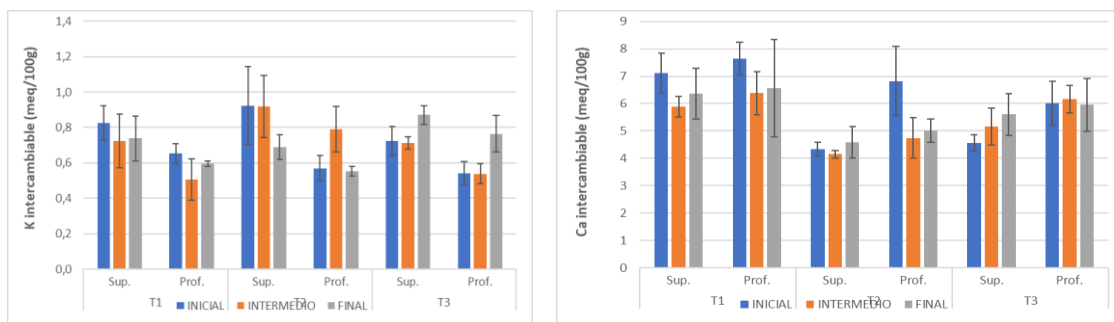
Respecto al contenido de nitrógeno total presente en el suelo los valores varían entre 0,64 g/kg y un nivel medio, a valores muy bajos de 0,24 g/kg (Urbano, 2001). Se

observa una tendencia a la acumulación de nitrógeno total en superficie respecto a su concentración en profundidad, lo que indica que pueden estar asociados, al menos parcialmente, a la materia orgánica del suelo. Existe poca variación respecto al contenido de nitrógeno entre el inicio y el final del tratamiento por lo que se puede concluir que la fertirrigación está ajustada a la demanda de la planta y a las pérdidas por lixiviación.

El fósforo es un elemento poco móvil en el suelo pudiendo quedar retenido en las capas más superficiales del mismo. Por este motivo se observa como en la mayoría de los tratamientos parte del fósforo no asimilado por la planta se va acumulando en el suelo dando lugar a unos valores mayores al terminar el ciclo. Los valores de fósforo presentes son catalogados como bajos ( $\approx 40$  mg/kg) al final de cada tratamiento, especialmente en los muestreos en superficie. Por su parte, los valores iniciales y en profundidad de cada tratamiento son catalogados como muy bajos (6-20 mg/kg) (Porta *et al.*, 1999). Observando la *Figura 11* se puede decir que el fósforo se está reteniendo en mayor medida en los tratamientos de mayor salinidad.



**Figura 11.** Evolución de las concentraciones de macronutrientes para T1, T2 y T3.



**Figura 11.** Evolución de las ... (continuación)

En relación a los cationes retenidos en el complejo de cambio (Mg, Na, K y Ca) se puede observar que a pesar del incremento en la concentración de magnesio en el agua a medida que aumenta la salinidad de los tratamientos, su concentración en el suelo presenta una ligera tendencia descendente. Los valores de Mg en el suelo oscilan entre los 0,77 - 1,34 meq/100g considerado un valor medio y apto para el cultivo (Horneck et al., 2011).

En cuanto al sodio, cuya concentración también se incrementó con el aumento de la salinidad en los tratamientos, presenta unos resultados similares entre estos siendo su concentración mayor en los estratos más superficiales. En el caso de T1 la concentración de Na se redujo durante el ciclo, mientras que en T2 y T3 su concentración aumentó especialmente en la capa superficial. Finalmente indicar que presentan una concentración ligeramente alta para T1 y T3 en profundidad y un valor alto en el resto de muestreos (Thiagalingam, 2000).

En el caso del potasio intercambiable la concentración sigue una tendencia similar entre tratamientos. En T1 y T2 hay una ligera tendencia decreciente en cuanto su concentración a lo largo del ciclo debido a la absorción de potasio por la planta, mientras que en T3 sufre un aumento al final del ciclo. En términos generales se puede decir que este nutriente presenta una concentración media (Horneck et al., 2011).

Por último, en el caso del Ca, su concentración varía entre tratamientos viendose afectada por el aporte en el agua de riego. Su nivel de concentración es medio para los tres tratamientos (Thiagalingam, 2000).

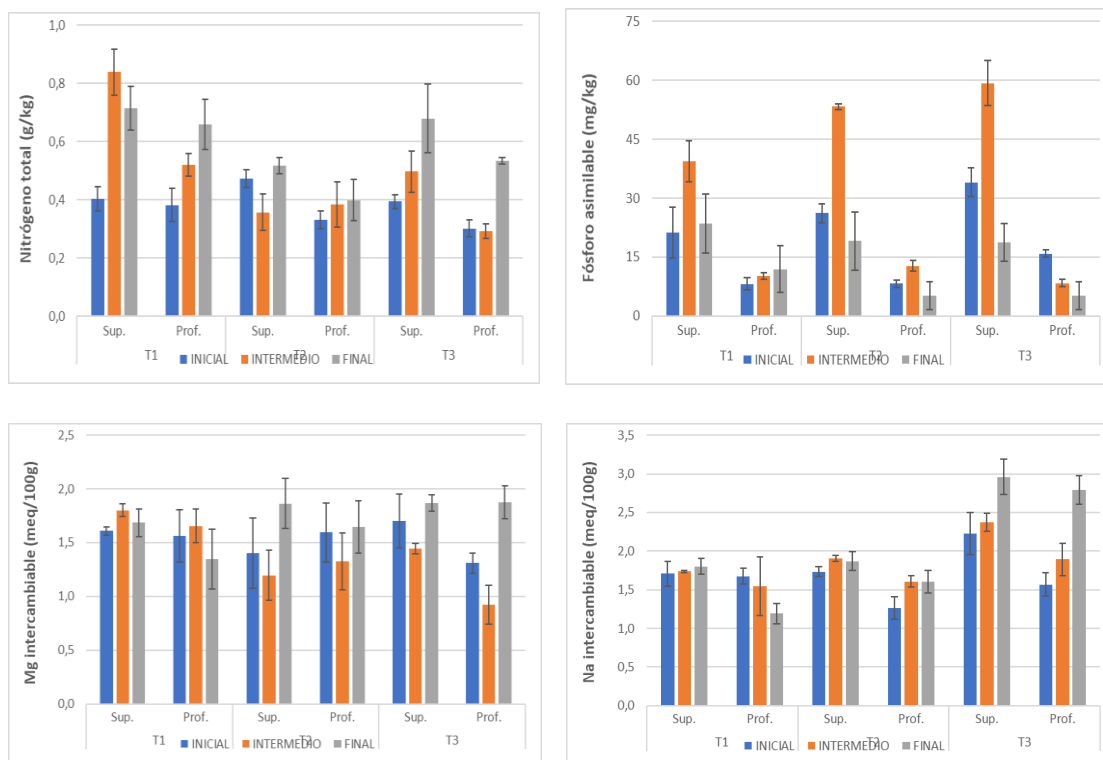
### Segundo ciclo (marzo 2020- julio 2020)

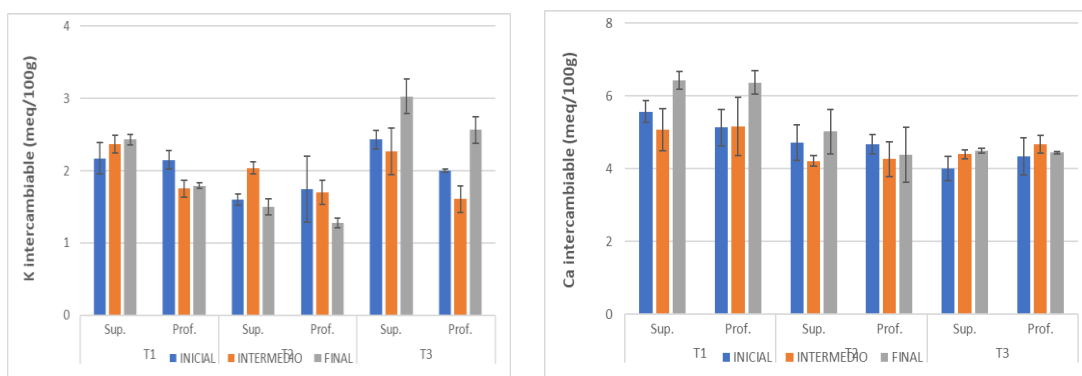
En este apartado se presentan los resultados de la concentración de macronutrientes en el suelo durante el segundo ciclo del cultivo. Como se puede

apreciar en la *Figura 12* el contenido de nitrógeno total varía en superficie entre una concentración media de 0,6 g/kg y un nivel medio, y una concentración media en profundidad de 0,4 g/kg y un nivel bajo (Urbano, 2001). Al contrario que en el primer ciclo, la concentración de nitrógeno no sigue un patrón uniforme y su variación se va viendo incrementada a lo largo del ciclo en los tres tratamientos.

En el caso del fósforo las concentraciones son menores respecto al ciclo anterior no siguiendo la tendencia acumulativa que presentaban. Se observa también una mayor concentración en la capa superficial del suelo. Destacar que a mitad de este ciclo se registró un aumento en la concentración de fósforo en todos los tratamientos llegando a alcanzar valores  $\approx 50$  mg/kg y considerados como medios para T2 y T3. Los valores en superficie para T1 y T2 se mantienen en torno 10-30 mg/kg considerados como bajos, mientras que en profundidad su concentración es considerada muy baja para todos los tratamientos (Porta et al., 1999).

Respecto a los cationes retenidos en el complejo de cambio (Mg, Na, K y Ca) se puede observar un ligero incremento en las concentraciones de Mg respecto al ciclo anterior. Se puede observar una tendencia similar en la concentración entre tratamientos moviéndose entre valores de 0,92 – 1,9 meq/100g catalogados como medios (Horneck et al., 2011).





**Figura 12.** Evolución de las concentraciones de macronutrientes para T1, T2 y T3.

En relación con el sodio se puede observar unos niveles más estables que en el ciclo primero, aunque en general se ha registrado un aumento en sus concentraciones. En el tratamiento 1 se produce una disminución de la concentración, en T2 hay una tendencia a la estabilidad mientras que en T3 el Na se va acumulando a lo largo del ciclo. Esto es debido a que la concentración de sodio aumenta con el incremento de salinidad de los tratamientos. El nivel de concentración va desde alto en los tratamientos 1 y 2 a muy altos para el tratamiento 3 (Thiagalingam, 2000).

Para el potasio intercambiable se observa una disminución en la concentración a lo largo del ciclo para los tres tratamientos. Esta disminución puede ser causada por la absorción por del cultivo, aunque se mantiene en niveles altos durante todo el ciclo (Horneck *et al.*, 2011).

Por último, en el caso del calcio se puede observar una menor concentración en los tratamientos 2 y 3 y una tendencia a su disminución mientras que en T1 la concentración aumenta a lo largo del ciclo presentando unos niveles de concentración medios para los tres tratamientos (Thiagalingam., 2000)

#### **4.4 Efecto del agua de riego en la concentración de micronutrientes del suelo**

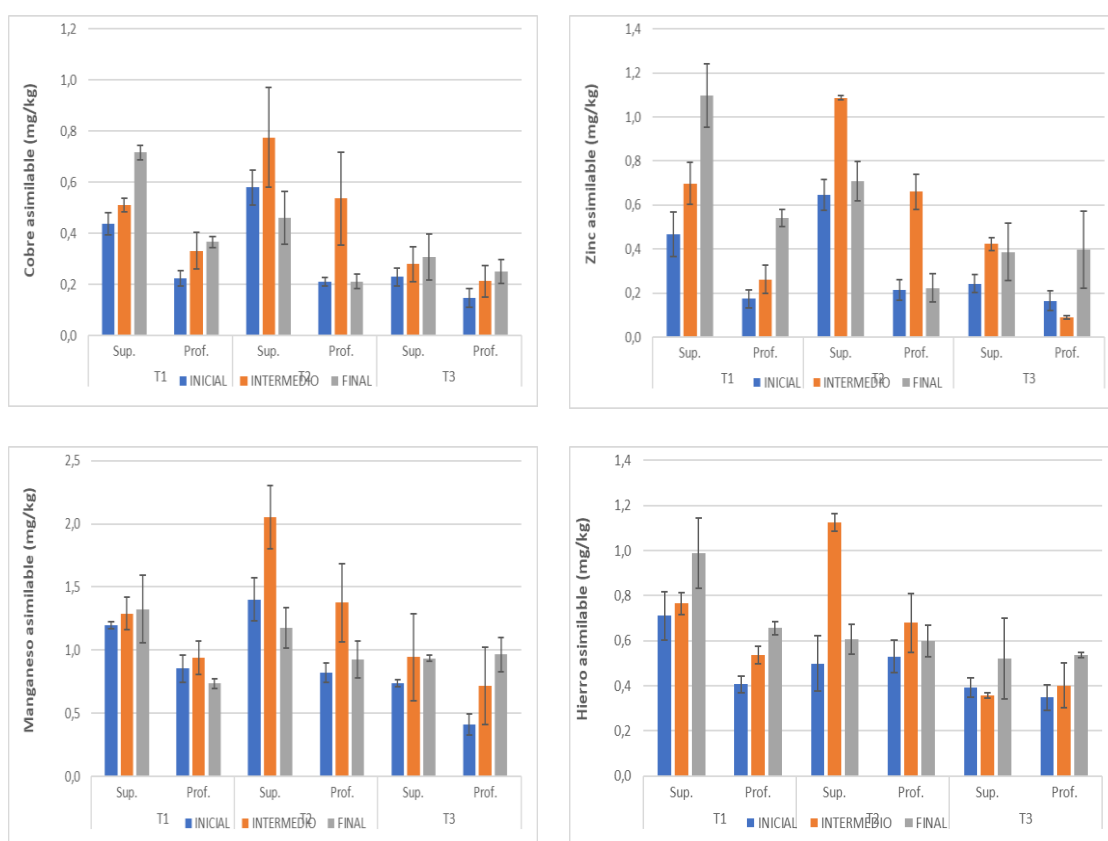
##### Primer ciclo (septiembre 2019 – febrero 2020)

En este apartado se presentan los resultados de las concentraciones de micronutrientes disponibles para los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad, durante el primer ciclo del cultivo (Figura 13).



En el caso del Cu y del Zn se observa una gran diferencia entre la concentración en superficie y en profundidad siendo más acusada en los tratamientos de menor salinidad. Los niveles de Cu son medios para T1 y T2 en superficie y bajos para el resto de tratamientos y profundidades (Thiagalingam, 2000). La concentración de Zn llega a alcanzar un nivel medio al final de T1 y a mitad de T2, pero como se puede observar en la *Figura 13* las concentraciones de zinc se mantienen en un nivel bajo para T1 y T2 en superficie y muy bajo para el resto de tratamientos y profundidades (Thiagalingam, 2000).

En el caso del manganeso y del hierro también se observa una menor concentración en profundidad, pero menos acusada que en el caso del cobre y del zinc. El Mn se encuentra en un nivel muy bajo con valores entre 0,7 -1 mg/kg a excepción de T1 y T2 en superficie donde alcanza un nivel bajo (Thiagalingam, 2000). No obstante, aunque no se observan deficiencias en el cultivo, se recomienda corregir esta concentración. Por último, en el caso del Fe su concentración se encuentra entre 0,39 – 1,12 mg/kg siendo este un nivel muy bajo (Thiagalingam, 2000), por lo tanto sería necesario elevar la concentración tanto de Fe como de Mn, para no llegar a tener deficiencias de estos dos micronutrientes en el cultivo.

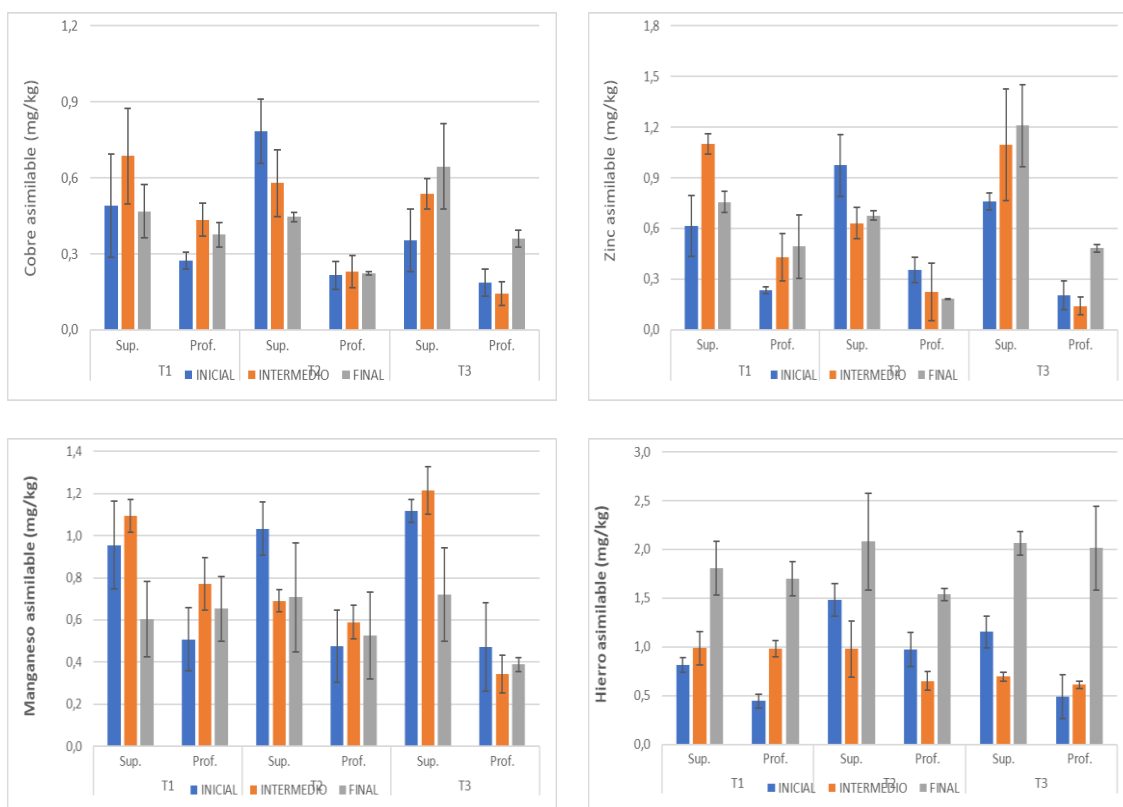


**Figura 13.** Evolución de las concentraciones de micronutrientes para T1, T2 y T3.

## Segundo ciclo (marzo 2020- julio 2020)

En la *Figura 14* se presentan los resultados correspondientes a la concentración de micronutrientes en suelo para el segundo ciclo de cultivo. Se puede observar que para Cu y Zn se sigue produciendo una mayor concentración en la capa de superficie cuya diferencia se va haciendo menos acusada conforme aumenta la salinidad del tratamiento. En el caso del Cu la concentración alcanza un nivel medio (0,3 – 0,64 mg/kg) para T1 y T2 en superficie y un nivel bajo en el resto de tratamientos y profundidades (Thiagalingam, 2000). Para el Zn se observa una tendencia a la acumulación a lo largo del ciclo para todos los tratamientos. Indicar que alcanza un nivel medio a mitad de ciclo para T1, al inicio para T2 y a lo largo de T3 en superficie presentando un nivel bajo para el resto de muestreos durante el ciclo en cada tratamiento y profundidades (Thiagalingam, 2000).

En el caso del Mn su concentración sigue siendo muy baja con un valor < 1 mg/kg alcanzando un nivel bajo en superficie para T1 y T3 (Thiagalingam, 2000). En el caso del Fe se observa un incremento en las concentraciones con respecto al ciclo anterior, pero sin llegar a corregirse las deficiencias de estos micronutrientes. Finalmente indicar que se produce una acumulación de este elemento a lo largo del ciclo, pero siempre estando dentro del rango de un valor muy bajo (Thiagalingam, 2000).



**Figura 14.** Evolución de las concentraciones de micronutrientes para T1, T2 y T3.

## **4.5 Efecto del agua de riego en la salinidad y elementos fitotóxicos del suelo**

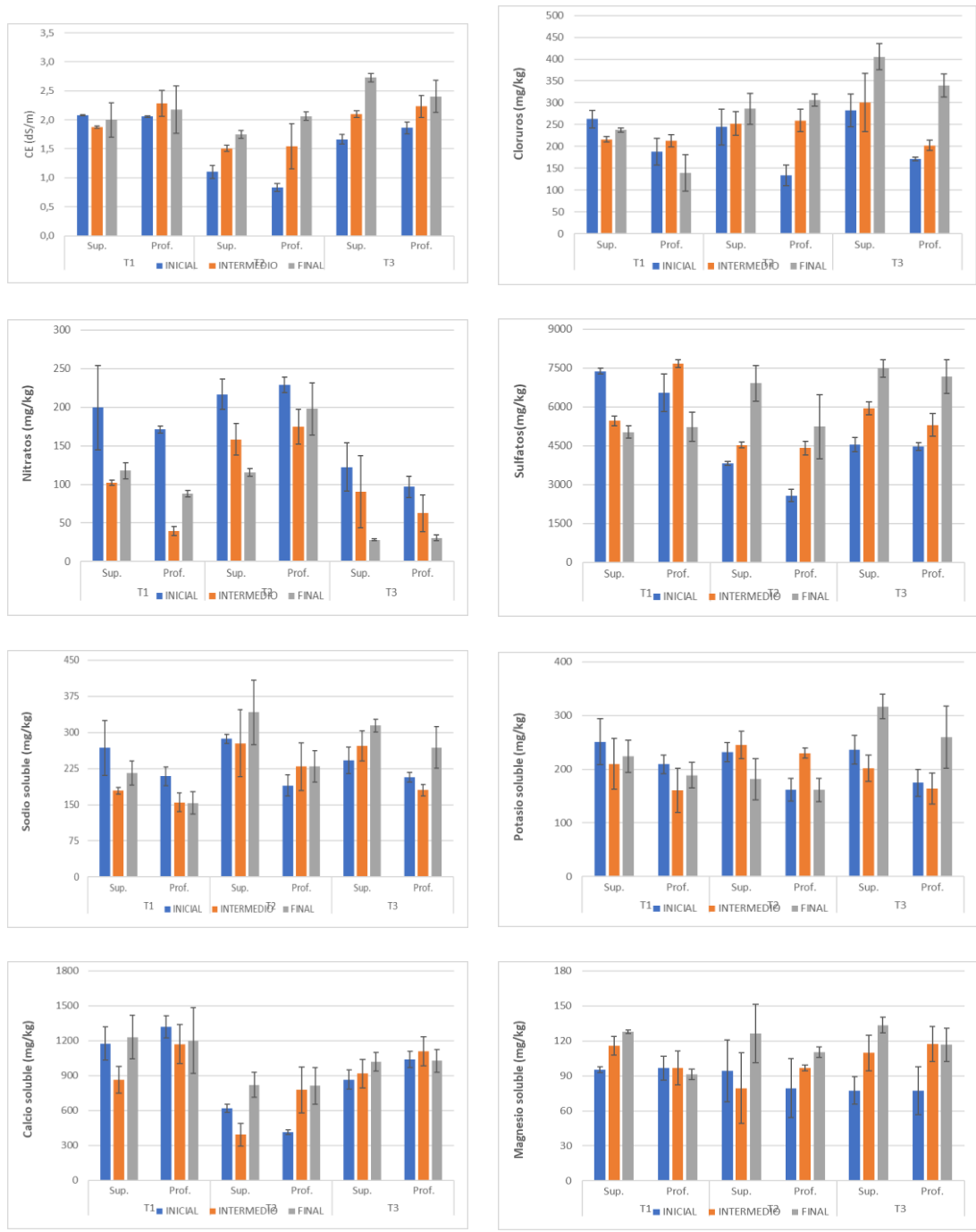
### Primer ciclo (septiembre 2019 – febrero 2020)

En este apartado se van a analizar los resultados obtenidos de la salinidad y concentración de aniones y cationes solubles en la solución del suelo para los tres tratamientos en el primer ciclo. En la *Figura 15* se puede observar la tendencia que sigue la conductividad eléctrica (CE) a lo largo del ciclo. En T1 se observa que la C.E. se mantiene estable mientras que su valor en T2 y T3 aumenta a lo largo del ciclo mostrando un incremento de salinidad entre tratamientos. No obstante, y a pesar de que la concentración de salinidad alcanza niveles muy altos (Thiagalingam, 2000) por encima de los 2 dS/m, el tomate es un cultivo semitolerante que acepta valores de CE > 2,4 dS/m sin afectar a su producción (FAO 1987). Una tendencia similar se observa en el caso de los cloruros, y del sodio, lo que indica que gran parte de la salinidad alcanzada se debe a estos dos elementos, llegando a alcanzar niveles muy elevados al final del ciclo de cultivo (> 300 mg/ kg en el caso de cloruros y > 200 mg/ kg para el sodio), incluso llegando a un nivel peligroso  $\approx$  400 mg/kg al final del ciclo en el tratamiento 3.

Por su parte, la concentración de sulfatos también sigue una tendencia similar a la descrita para el sodio y el cloro, observándose un incremento en T2 y T3 a lo largo del ciclo.

Por el contrario, en el caso del potasio y del magnesio, se observa cierta estabilidad en la concentración de estos elementos experimentando ligeros aumentos y descensos lo que indica que existe un equilibrio entre la absorción del cultivo y los aportes de la fertirrigación.

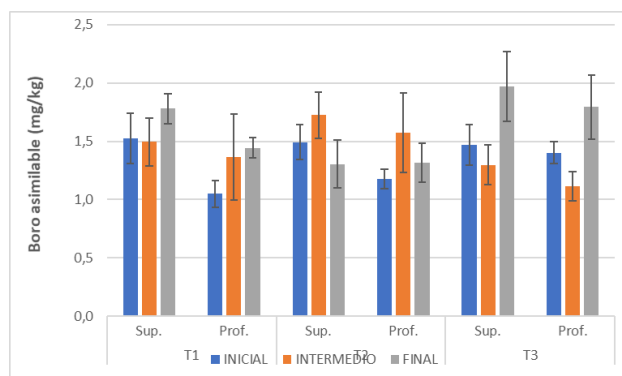
Por último, en el caso de los nitratos se observa una gran caída en la concentración a lo largo del ciclo para los tres tratamientos. Llega a alcanzar concentraciones muy bajas (< 50 mg/ kg) por lo que se recomienda ajustar la fertirrigación con el objetivo de evitar posibles deficiencias.



**Figura 15.** Evolución de salinidad y aniones/ cationes solubles en suelo para T1, T2 y T3.

En el caso del boro asimilable (*Figura 16*), se observan diferencias de comportamiento entre tratamientos. Mientras que en los tratamientos 1 y 3 se observa un incremento en la concentración a lo largo del ciclo, en el tratamiento 2 su concentración disminuye al final de este. Este comportamiento se mantiene tanto en los tratamientos en superficie como en profundidad. Como se puede ver en la *Figura 16*, la concentración del ion Boro varía entre concentraciones de 1-2 mg/ kg alcanzando un

nivel alto en algunos casos al final del ciclo. No obstante, estos valores indican que no existirá riesgo por fitotoxicidad ni deficiencia por este elemento en el cultivo (Thiagalingam, 2000, Horneck *et al*, 2011).



**Figura 16.** Evolución de la concentración de Boro en suelo para T1, T2 y T3.

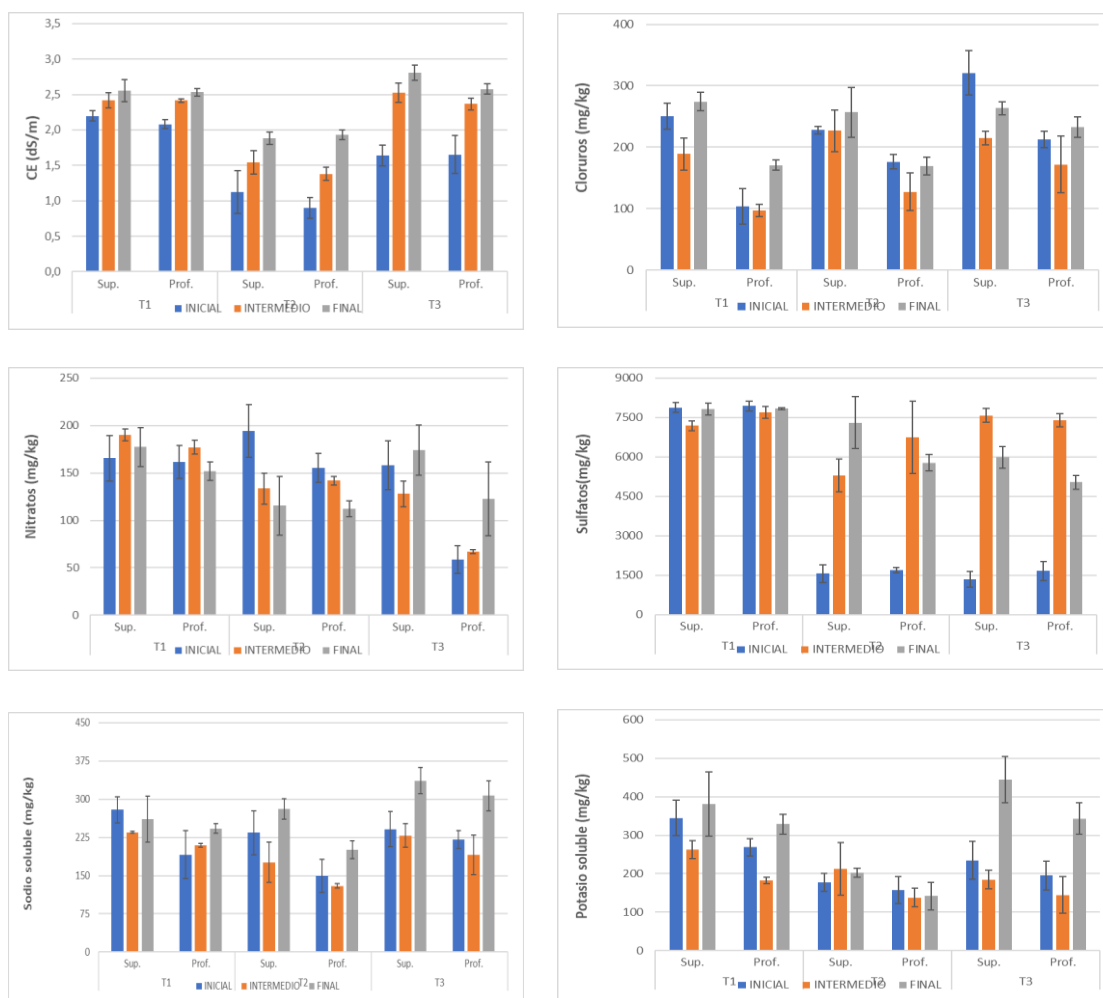
### Segundo ciclo (marzo 2020- julio 2020)

En la *Figura 17* se representan los resultados obtenidos para la salinidad y la concentración de aniones y cationes solubles en la solución del suelo para los tres tratamientos, tanto en superficie como en profundidad para el segundo ciclo de cultivo. Como se puede observar, en el segundo ciclo la salinidad sigue la misma tendencia de acumulación a lo largo del ciclo, alcanzando así una concentración muy elevada ( $\approx 2,5$  dS/m) al final de los tratamientos 1 y 3. Como se puede observar, al inicio del ciclo los valores de salinidad son muy diferentes. T1 y T3 más elevados y T2 más bajo, lo que indica que el lavado del suelo que se produce entre ciclos ha sido irregular. No obstante, no se observan grandes diferencias entre la salinidad en superficie y en profundidad para ningún tratamiento. En el caso de los cloruros y del sodio se continúa observando una tendencia a la acumulación de sales, pero menos marcada que en el ciclo interior alcanzándose niveles muy altos de estas sales ( $> 300$  mg/ kg en el caso de cloruros y  $> 200$  mg/ kg para el sodio).

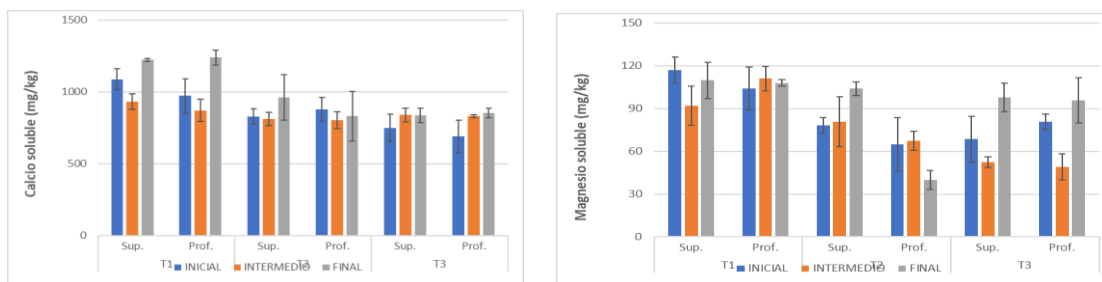
De igual modo las concentraciones de potasio y magnesio solubles tienden a aumentar a lo largo del ciclo de cultivo, pero lo hacen con menor intensidad. En ambos casos se produce una mayor acumulación en T3 donde el tratamiento es más salino y se dificulta la absorción de estos elementos por parte del cultivo.

En el caso de los nitratos se observa una tendencia decreciente en cuanto a su concentración a lo largo del ciclo. Esta disminución puede deberse tanto al ajuste hecho por la fertilización, al consumo de nitratos por la planta y a la posible lixiviación de este compuesto el cual es muy soluble en el suelo.

Por último, se puede observar una gran heterogeneidad en el caso de los sulfatos. En el tratamiento 1 se observan valores muy altos desde el inicio del ciclo ( $\approx 7500$  mg/kg) que se mantienen a lo largo de este. Mientras, en T2 y T3 se encuentra una concentración mínima al inicio del ciclo que se ha aumentado hasta alcanzar valores próximos a  $\approx 6000$  mg/kg.

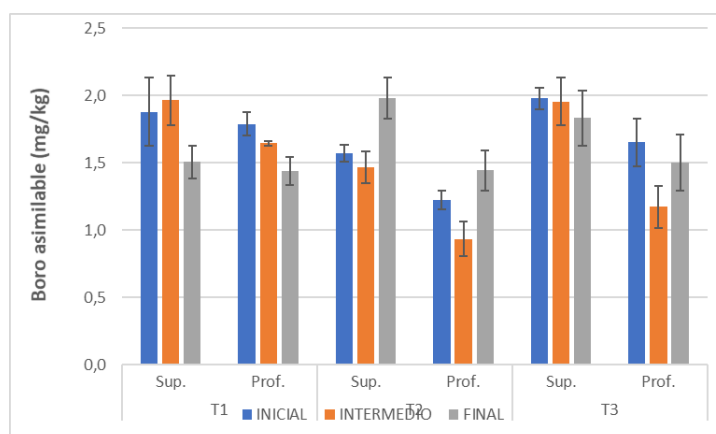


**Figura 17.** Evolución de salinidad y aniones/ cationes solubles en suelo para T1, T2 y T3.



**Figura 17.** Evolución de la salinidad ... (continuación)

Como podemos observar en la *Figura 18*, la concentración de boro asimilable se mantiene en unos niveles similares a los observados en el primer ciclo. Al contrario que sucedía en el ciclo anterior la tendencia general del boro es a disminuir su concentración durante el ciclo, excepto en el tratamiento 2. Además, se observa una disminución de la concentración en profundidad respecto a superficie. No obstante, las concentraciones máximas alcanzan niveles < 2.0 mg/kg lo que está considerado como un nivel medio (Thiagalingam, 2000). Este nivel medio indica que no hay riesgo de fitotoxicidad ni deficiencias por este elemento (Horneck *et al*, 2011).

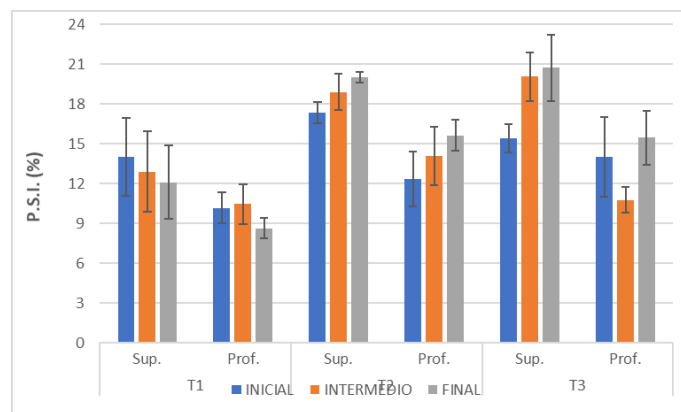


**Figura 18.** Evolución de la concentración de Boro en suelo para T1, T2 y T3.

#### 4.6 Efecto del agua de riego en las propiedades físicas del suelo

##### Primer ciclo (septiembre 2019 – febrero 2020)

En este apartado se procede a la evaluación de los resultados del efecto del tipo de agua de riego en las propiedades físicas del suelo (*Figuras 19 y 20*).



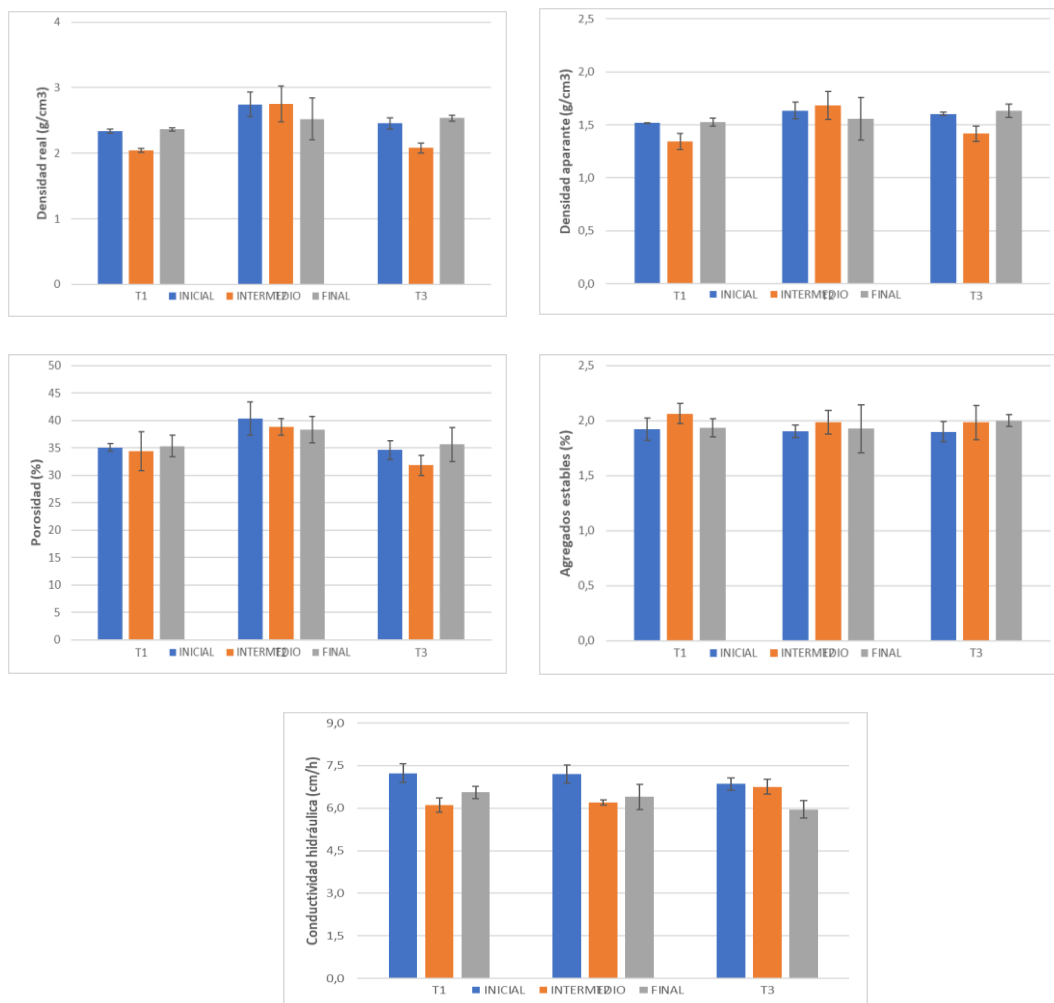
**Figura 19.** Evolución del porcentaje de sodio intercambiable del suelo para T1, T2 y T3.

Como se puede observar en la *Figura 19* el porcentaje de P.S.I. es mayor en las capas superficiales respecto a las capas de profundidad. En el tratamiento 1 la concentración va disminuyendo a lo largo del ciclo con valores entre 14-8%, lo que indica que el sodio está siendo remplazado en el complejo de cambio posiblemente por Ca o Mg y lavado con las aguas de lixiviación. Mientras, en los tratamientos 2 y 3 se observa un incremento al final del ciclo por lo que el incremento de la salinidad afecta también al porcentaje de sodio retenido en el complejo de cambio del suelo. En estos dos últimos tratamientos los valores de P.S.I. alcanzan niveles > 15%, lo que indica un posible riesgo de inestabilidad en la estructura del suelo si esta tendencia se mantuviera en los ciclos posteriores.

En relación a la porosidad presenta unos valores similares, entre el 30-40%, con apenas diferencia entre tratamientos. Esta porosidad es debida al alto porcentaje de arena presente en el suelo, por lo que la aireación de la parcela de estudio será adecuada para el cultivo de tomate.

En el caso de los agregados estables su presencia en las parcelas es muy escasa. Presenta gran homogeneidad entre tratamientos con valores cercanos al  $\approx 2\%$  por lo que sería recomendable el aporte de una enmienda orgánica que incremente la agregación de las partículas del suelo. Por último, la conductividad hidráulica presenta un comportamiento también homogéneo entre tratamientos alcanzando valores superiores a 6 cm/h, siendo este un nivel alto (Whitlow, 1994). La escasa diferencia observada entre tratamientos indica que no existen diferencias significativas de las propiedades físicas del suelo para los diferentes grados de salinidad del agua de riego.

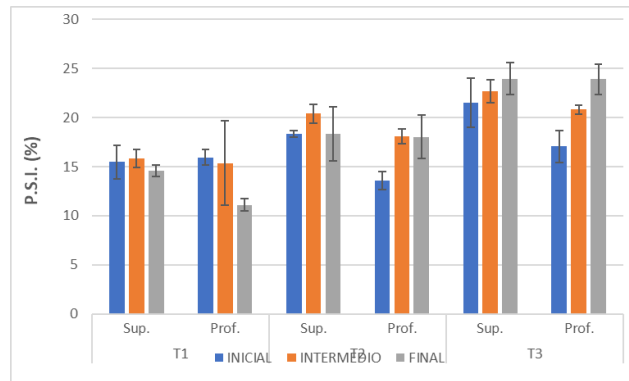




**Figura 20.** Evolución de las propiedades físicas del suelo para T1, T2 y T3.

Segundo ciclo (marzo 2020- julio 2020)

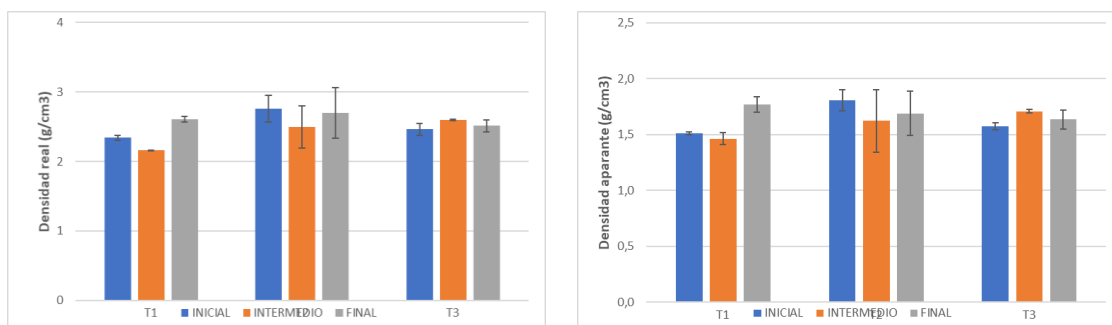
En este apartado se evaluarán los resultados de las propiedades físicas del suelo para los tres tratamientos en el segundo ciclo de cultivo. En el caso del P.S.I. (Figura 21) se sigue observando una acumulación a lo largo del ciclo para T3, mientras que para T2 aumenta ligeramente y para T1 se mantiene relativamente constante. Los valores entre los que varía el P.S.I. son  $\approx 15\%$  al final del ciclo en T1, un valor  $\approx 20\%$  al final de T2 y un valor  $\approx 24\%$  al final de T3. Esto indica que se está produciendo una acumulación entre ciclos lo cual puede llegar a provocar problemas de inestabilidad en la estructura del suelo, especialmente en T3.



**Figura 21.** Evolución del porcentaje de sodio intercambiable del suelo para T1, T2 y T3.

Por su parte, en la *Figura 22* se muestran los resultados de densidad real, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica y agregados estables, en los tratamientos a lo largo del segundo ciclo de cultivo. Como podemos observar en la *Figura 22* la porosidad del suelo se mantiene entre valores del 30-40% sin presentar problemas de aireación. En cuanto a la cantidad de agregados estables se observa una disminución en su concentración a lo largo del ciclo de valores  $\approx 2\%$  a valores  $\approx 1,5\%$ . Por lo que se recomienda el aporte de una enmienda orgánica que incremente la agregación de las partículas del suelo. Por último, la conductividad hidráulica alcanza valores similares a los del primer ciclo y un nivel clasificado como alto (Whitlow, 1994).

Cabe destacar que pese a que se observa un incremento significativo en el P.S.I entre ambos ciclos, no existen diferencias significativas para ninguna de las propiedades físicas evaluadas por lo que se puede concluir que las aguas usadas en el ensayo no tienen efecto en estas propiedades.



**Figura 22.** Evolución de las propiedades físicas del suelo para T1, T2 y T3.

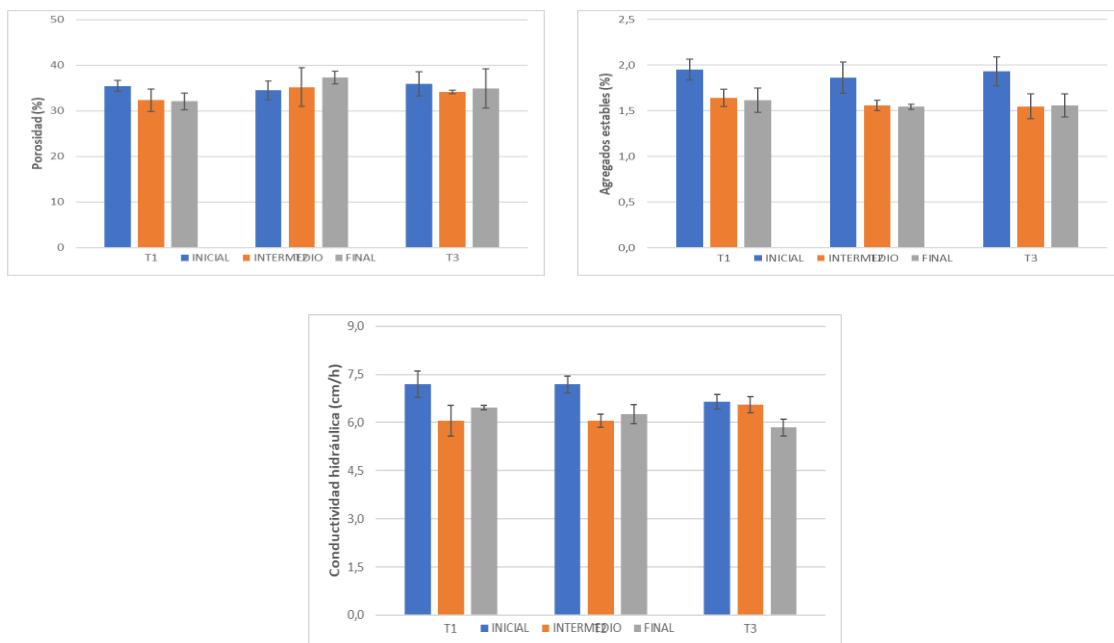


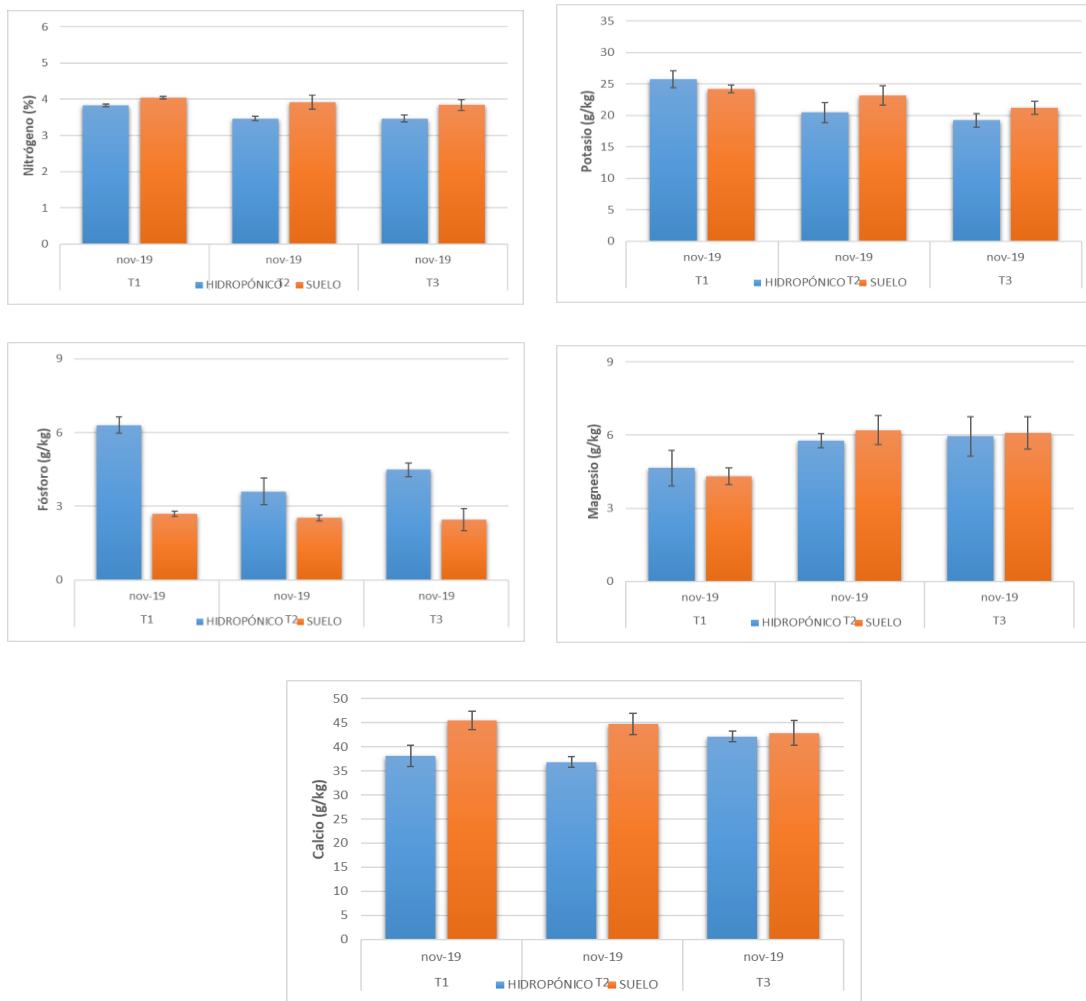
Figura 22. Evolución de las propiedades .... (continuación)

#### 4.7 Efecto del tipo de agua de riego en las concentraciones de nutrientes en planta

##### Primer ciclo (septiembre 2019 – febrero 2020)

En este apartado se presentan los resultados correspondientes a la evolución de la concentración de nutrientes y elementos potencialmente fitotóxicos en planta para los tres tratamientos. Como se puede observar en la *Figura 23* la concentración de nitrógeno presenta unos niveles similares entre tratamientos, observándose una mayor acumulación de nitrógeno en el cultivo en suelo sobre el cultivo en hidropónico. Las concentraciones de N se encuentran en niveles normales, para el cultivo de tomate para todos los tratamientos, entre 3-4% (Junta de Extremadura, 1992).

En el caso del potasio se sigue una tendencia similar al N donde se produce una mayor acumulación en suelo sobre le hidropónico excepto en T1. También se aprecia una reducción de la concentración entre tratamientos a pesar de que el aporte es mayor con el incremento de salinidad. Los valores recogidos para los tres tratamientos presentan una concentración entre 19-25% lo que se encuentra por debajo de un nivel normal para el cultivo de tomate (Junta de Extremadura, 1992), por lo tanto se recomienda la corrección de estos niveles con el fin de evitar deficiencias.



**Figura 23.** Evolución de la concentración de macronutrientes en planta para T1, T2 y T3.

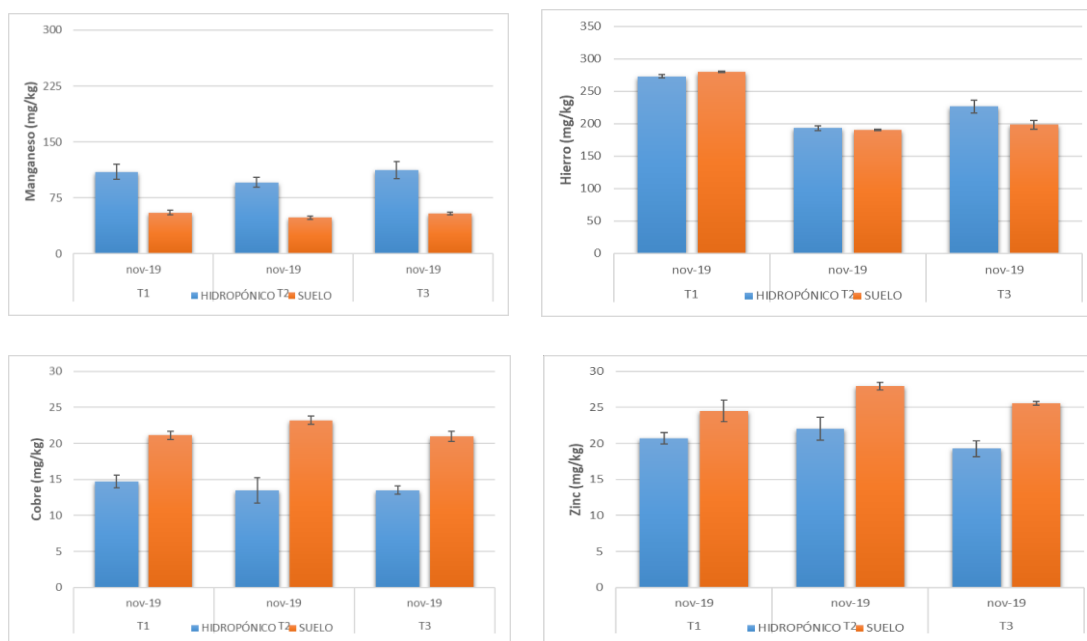
En el caso de Fósforo la diferencia de concentración entre ambos sistemas es más acusada que en el resto de elementos. Apenas se observan diferencias entre tratamientos para la concentración en suelo, mientras que en hidropónico se encontró una mayor variabilidad. Este elemento llega a alcanzar un nivel alto (>0,6%) en el tratamiento 1 en hidropónico, pero se mantiene dentro de valores normales para el resto de sistemas de cultivo y tratamientos (Junta de Extremadura, 1992).

En el caso del magnesio se observa una mayor concentración en los tratamientos de mayor salinidad no habiendo apenas diferencia entre el tratamiento 2 y 3. De igual modo, no se observan diferencias en la concentración de Mg en hoja para ambos sistemas de cultivo. Su concentración en hoja alcanza un nivel calificado como bajo (<0,4%) (Junta de Extremadura) pese a que el cultivo no presenta deficiencias de este elemento.

Por último, en el caso del calcio se llegan a alcanzar niveles altos (>4,5%) en los tratamientos 1 y 2 en suelo. Sin embargo, en el resto de casos la concentración de calcio varía en niveles clasificados como normales (Junta de Extremadura, 1992). La diferencia de concentración observada entre tratamientos en suelo e hidropónico disminuye con el aumento de la salinidad.

En la *Figura 24* se presenta la evolución en la concentración de micronutrientes en los tres tratamientos, tanto para cultivo en hidropónico como en suelo, para el primer ciclo de cultivo. Como se puede observar, hay grandes diferencias en la concentración de manganeso entre el cultivo en suelo e hidropónico sin apenas diferencias entre tratamientos. Se alcanzan concentraciones de manganeso  $\approx 100$  mg/kg en hidropónico y de  $\approx 52$  mg/kg en suelo, considerados como valores normales (Junta de Extremadura, 1992). Esta diferencia de concentración de Mn en planta se debe a que este suele quedar retenido en el suelo mientras que su asimilación mejora en hidropónico.

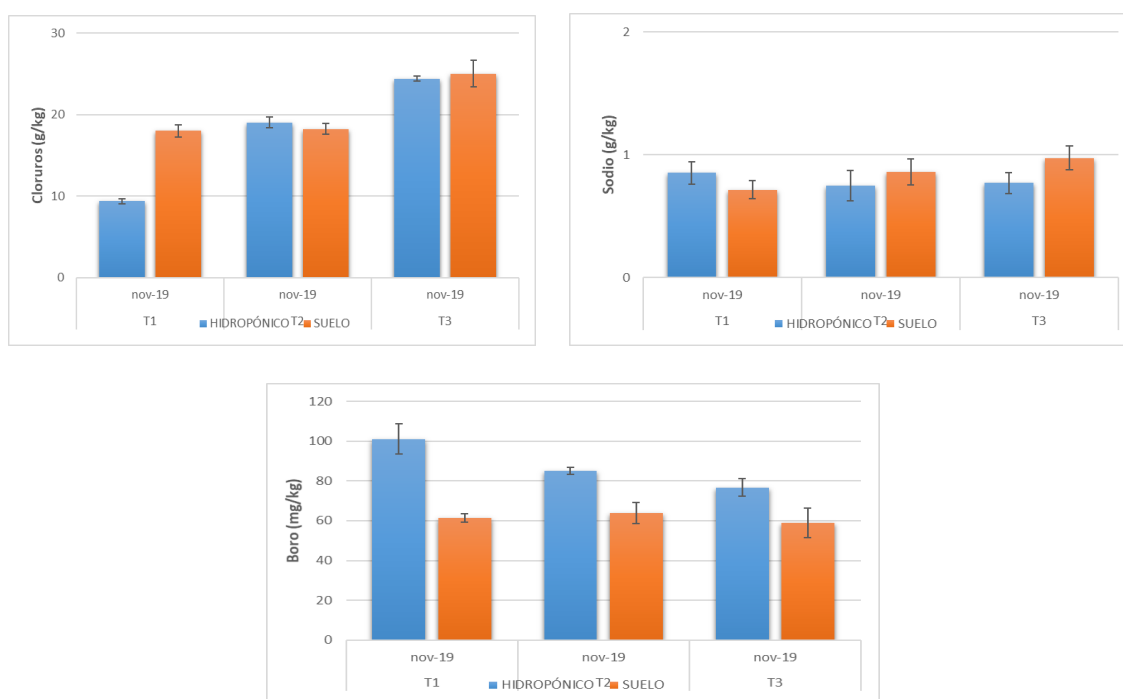
En el caso del hierro su concentración es similar entre ambos sistemas por lo que el tipo de sustrato no afecta de manera visible a la acumulación de este elemento. Sin embargo, se observan ligeras diferencias entre tratamientos alcanzando una mayor concentración en T1 pese a que el aporte en fertirrigación ha sido el mismo.



**Figura 24.** Evolución de la concentración de micronutrientes en planta para T1, T2 y T3.

Por último, en el caso del cobre y del zinc se puede observar una mayor concentración en el cultivo en suelo que en el cultivo en hidropónico. Los valores de concentración entre tratamientos son similares observándose una disminución en T3 debido a que un incremento en la salinidad puede empeorar la absorción de estos elementos por parte de la planta. Las concentraciones de Cu presentes en el cultivo se mueven entre valores de 13-23 mg/kg clasificados como valores normales (Junta de Extremadura, 1992). En el caso del Zn también se observan unos niveles clasificados como normales con una concentración variando entre 19-28 mg/kg (Junta de Extremadura, 1992).

Finalmente, en la *Figura 25* se presenta la evolución de la concentración de los elementos potencialmente fitotóxicos (cloruros, sodio y boro) en los tres tratamientos, tanto para cultivo en suelo como cultivo en hidropónico, en el primer ciclo de cultivo.



**Figura 25.** Evolución de la concentración de elementos fitotóxicos en planta para T1, T2 y T3.

Como se puede observar, en el tratamiento 1 la acumulación de cloruros en plantas cultivadas en suelo es mucho mayor que en hidropónico. Sin embargo, en los tratamientos 2 y 3 donde la salinidad aumenta, y por tanto su concentración, no se observan apenas diferencias entre cultivo en suelo y el cultivo en hidropónico. Para el caso de T1 en hidropónico, los cloruros alcanzan una concentración  $\approx 10$  g/kg que no supone un efecto significativo en el desarrollo del cultivo, mientras que las el resto de

tratamientos y sistemas presentan una concentración  $\approx 20$  g/kg que puede llegar a ocasionar pérdidas en la producción

Las concentraciones de sodio, como se puede observar en la *Figura 25*, son similares para ambos sistemas de cultivo sin observarse grandes diferencias entre tratamientos. De igual modo, se observa un incremento de la concentración en suelo respecto al aumento de salinidad de los tratamientos mientras que en hidropónico se mantiene en un nivel más estable. La concentración máxima de suficiencia para el cultivo de tomate se encuentra en valores  $>1$  g/kg (LMP, 2011). La concentración alcanzada para los tres tratamientos se encuentra en concentraciones cercanas  $\approx 0,9$  g/kg lo que no debería provocar daños en el cultivo. No obstante, se recomienda controlar este parámetro para evitar su acumulación.

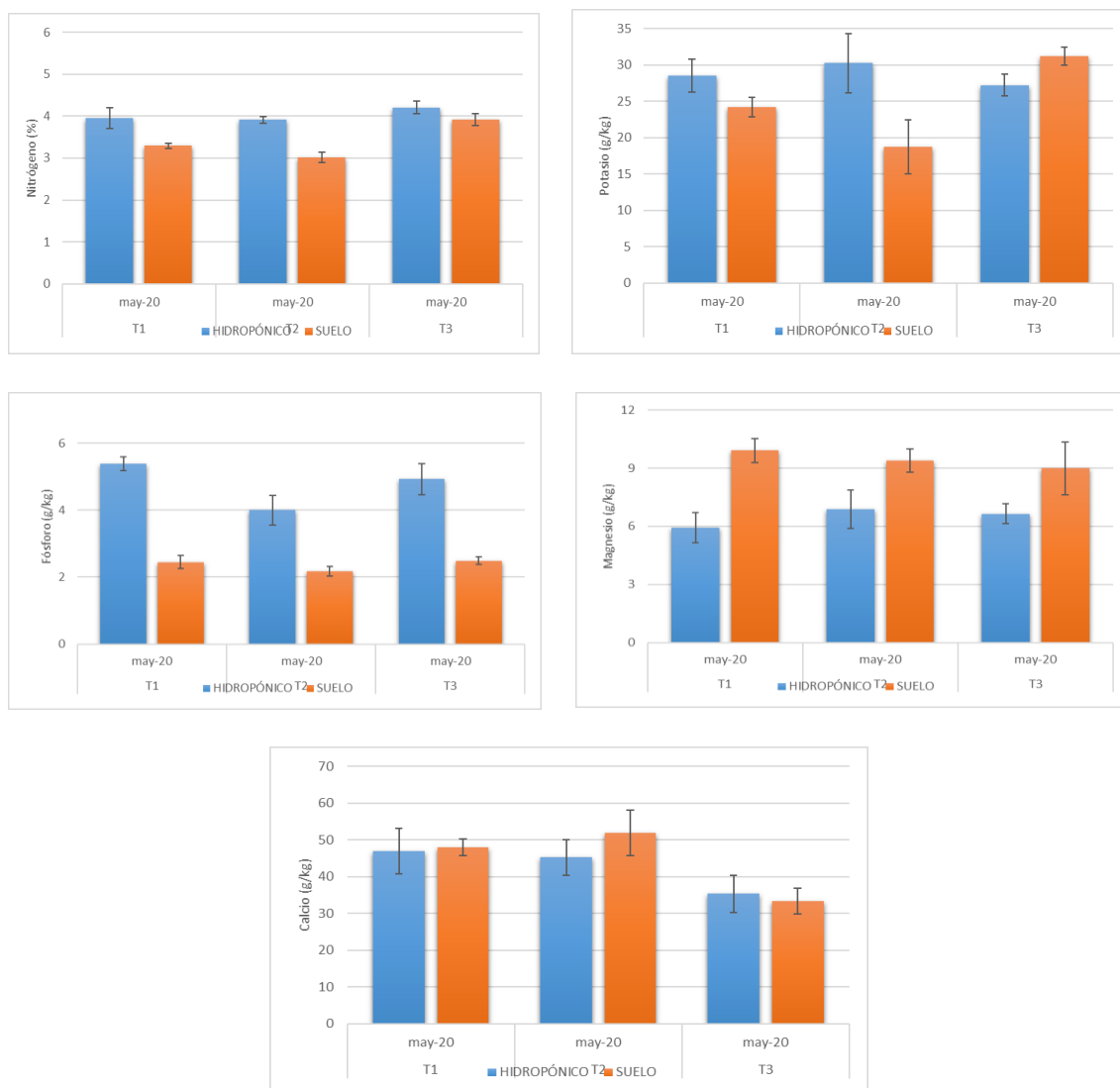
Por último, en relación a la concentración de boro se puede observar una mayor concentración para el cultivo en hidropónico respecto al cultivo en suelo. También se observa una disminución de la concentración en planta conforme aumenta la salinidad del tratamiento por lo que el boro se encuentra menos disponible para la planta. Destacar que en el cultivo en suelo el efecto es menos acusado que en hidropónico. Finalmente, indicar que el boro alcanza un nivel de concentración alto para el tratamiento 1 en hidropónico ( $>100$  ppm) y un nivel normal para el resto de tratamientos (Junta de Extremadura, 1992).

#### Segundo ciclo (marzo 2020- julio 2020)

En este apartado se tratan los resultados correspondientes a la evolución de la concentración de nutrientes y elementos potencialmente fitotóxicos en planta para los tres tratamientos durante el segundo ciclo de cultivo. Como se puede observar en la *Figura 26* la concentración de nitrógeno en hojas es similar para los tres tratamientos en hidropónico ( $\approx 4\%$ ), mientras que en el cultivo en suelo se observan diferencias entre los tratamientos T1 y T2 ( $\approx 3\%$ ), respecto a T3 ( $\approx 4\%$ ) calificándose todos los niveles como normales (Junta de Extremadura, 1992).

En el caso del potasio, se puede observar una concentración mayor que en el primer ciclo para los tres tratamientos. Su concentración se mantiene entre 18-31 g/kg clasificados como normales (Junta de Extremadura, 1992). Por su parte, en el caso del fósforo se pueden observar grandes diferencias entre los tratamientos en hidropónico y el suelo. Mientras que la concentración en suelo se mantiene cercana a  $\approx 2,3$  g/kg, la concentración en hidropónico varía llegando a alcanzar mayores niveles. No obstante,

todas las concentraciones del fósforo son clasificadas como normales (Junta de Extremadura, 1992).



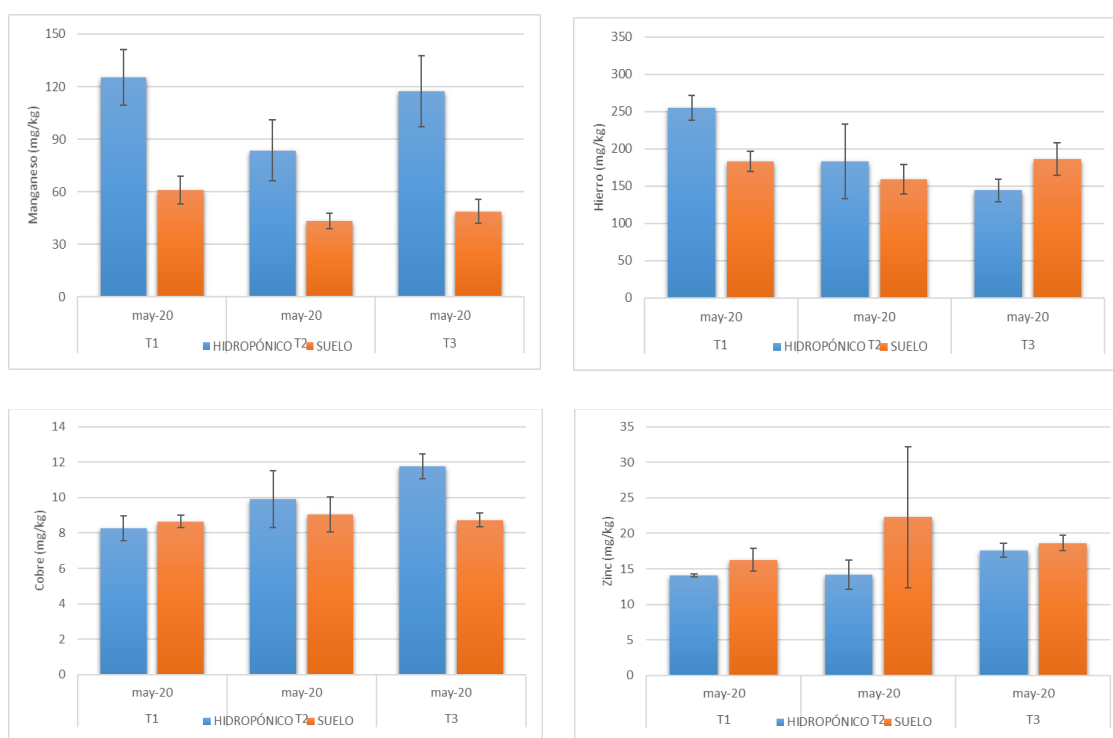
**Figura 26.** Evolución de la concentración de macronutrientes en planta para T1, T2 y T3.

Como podemos observar en la *Figura 26* la concentración de magnesio no se ve afectada por la diferencia de aporte entre tratamientos. Se mantiene en niveles normales para todos los tratamientos (Junta de Extremadura, 1992) y en una concentración muy similar entre ambos sistemas de cultivo. Por último, en el caso del calcio se observa una concentración similar en T1 y T2 que disminuye ligeramente para T3. Durante el tratamiento 3 alcanza una concentración de  $\approx 34$  g/kg siendo este un nivel normal, mientras que en T2 y T3 llega a alcanzar una concentración  $\geq 45$  g/kg clasificado como alto (Junta de Extremadura, 1992).



En la *Figura 27* se presenta la evolución en la concentración de micronutrientes en los tres tratamientos, tanto para cultivo en hidropónico como en suelo, para 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. Todos los valores de manganeso son clasificados como normales (40-350 mg/kg) (Junta de Extremadura, 1992).

En el caso del hierro se pueden observar similitudes para el cultivo en suelo en los tres tratamientos mientras que la concentración en hidropónico disminuye con la salinidad de los tratamientos. En general, se registraron niveles algo inferiores al ciclo anterior siendo clasificados como altos en el tratamiento 1 y normales en el resto de tratamientos (Junta de Extremadura, 1992).



**Figura 27.** Evolución de la concentración de micronutrientes en planta para T1, T2 y T3.

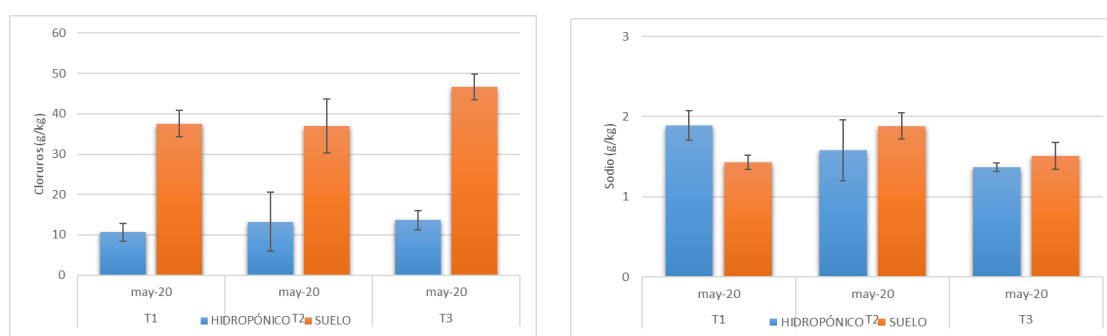
Por su parte, la concentración de cobre se incrementa al aumentar la salinidad de los tratamientos para cultivo en hidropónico. Por el contrario, en cultivo en suelo este efecto se amortigua debido a la capacidad de retención de este. Las concentraciones

registradas se encuentran entre 8-12 mg/kg siendo clasificadas como normales (Junta de Extremadura, 1992). Finalmente, las concentraciones de zinc fueron ligeramente inferiores que en el primer ciclo encontrando unos niveles bajos para todos los tratamientos a excepción del tratamiento 2 en suelo que presenta unos niveles normales (Junta de Extremadura, 1992). Por lo que no presentan deficiencias de este elemento.

En la *Figura 28* se presenta la evolución de la concentración de los elementos potencialmente fitotóxicos (cloruros, sodio y boro) en los tres tratamientos, tanto para cultivo en suelo como cultivo en hidropónico, en el segundo ciclo de cultivo. En el caso de los cloruros se observan grandes diferencias entre los dos sistemas de cultivo, en suelo e hidropónico. Sin embargo, la diferencia de concentración entre tratamientos es menor pese al incremento de estos con la salinidad. Las concentraciones halladas en el cultivo en hidropónico, con un valor  $\approx 1$  g/kg, no suponen un efecto significativo en el desarrollo del cultivo. Por el contrario, las concentraciones de cloruros halladas en suelo, con un valor  $\approx 40$  g/kg, puede ocasionar pérdidas de hasta un 40% de peso en planta.

En el caso del sodio, las concentraciones son algo superiores que en el ciclo anterior, superándose en todos los tratamientos el límite máximo de concentración de suficiencia ( $> 1$ g/kg) para el cultivo de tomate (LMP, 2011).

Por último, en relación al boro se puede observar un incremento de concentración respecto al ciclo anterior, especialmente en los tratamientos 2 y 3 alcanzando un nivel alto para T1 en hidropónico y T2 en suelo ( $> 100$  mg/kg). En el resto de tratamientos y en ambos sistemas de cultivo mantiene una concentración clasificada como normal (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.



**Figura 28.** Evolución de la concentración de elementos fitotóxicos en planta para T1, T2 y T3

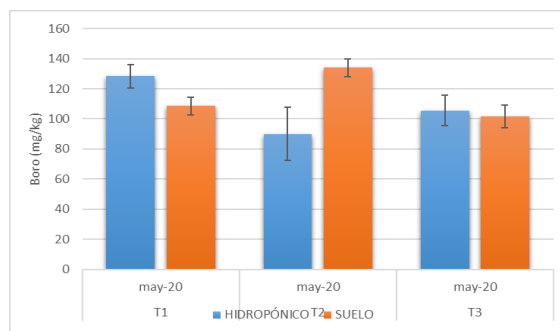


Figura 28. Evolución de la concentración... (continuación)

#### 4.8. Valoración económica

En este apartado se evalúa económicamente la rentabilidad del uso de AMD respecto a la producción obtenida en el cultivo de tomate para los diferentes tratamientos. La composición de cada uno de nuestros tratamientos ha sido:

- T1: Agua marina desalinizada con baja salinidad (0,5 dS/m) (100% AMD)
- T2: Agua marina desalinizada con moderada salinidad (1,5 dS/m) (75% AMD + 25 % AP)
- T3: Agua marina desalinizada con elevada salinidad (3 dS/m) (50% AMD + 50% AP)

El volumen de agua de riego aplicado se ha ajustado a las necesidades del cultivo para cada tratamiento y en cada sistema. El volumen medio total de agua de riego aplicado en suelo ha sido de  $\approx 195 \text{ L/m}^2$  mientras que en hidropónico el volumen medio fue de  $\approx 260 \text{ L/m}^2$  siendo superior en los tratamientos de mayor salinidad. Teniendo en cuenta que el coste de AMD es de  $0,6 \text{ €/m}^3$  y que el coste de AP es de  $0,18 \text{ €/m}^3$  se procede al cálculo de los costes de agua de riego para cada tratamiento como se puede observar en la *Tabla 11*:

Tabla 11. Costes agua de riego para T1, T2 y T3

	Sistema	Volumen (m3/ha)	Costes (€)
<b>Tratamiento 1</b>	Suelo	1950	1170,00
	Hidropónico	2390	1434,00
<b>Tratamiento 2</b>	Suelo	1950	965,25
	Hidropónico	2610	1291,95
<b>Tratamiento 3</b>	Suelo	1920	748,80
	Hidropónico	2670	1041,30

En la Tabla 10 se observa el tratamiento aplicado a la fertirrigación para cada uno de los tratamientos de nuestro sistema de cultivo. A continuación, teniendo en cuenta los volúmenes de agua de riego y la cantidad de fertilizante aplicados a

cada tratamiento y sistema, calculamos los costes totales de estos. Los cálculos necesarios para la determinación de los costes de cada tanque (Tabla 12) vienen recogidos en el Anexo I. Cálculos:

**Tabla 12.** Costes de fertilizantes para T1, T2 y T3

€	T1		T2		T3	
	Suelo	Hidropónico	Suelo	Hidropónico	Suelo	Hidropónico
<b>Ácido fosfórico 85%</b>	9,73	11,92	140,47	188,01	241,32	335,58
<b>Nitrato cálcico 15,5% N, 27% CaO</b>	506,18	620,39	504,83	675,70	445,04	618,89
<b>Nitrato potásico (13-0-46)</b>	576,84	707,00	1.191,64	1.594,97	1.327,56	1.846,14
<b>Nitrato amónico 33,5% N</b>	0	0	0	00	2,81	3,90
<b>Sulfato potásico</b>	238,55	292,37	0	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfato monopotásico (0-51-34)</b>	505,74	619,86	231,78	310,23	12,46	17,33
<b>Nitrato de magnesio 11% N, 15,7% MgO</b>	490,85	601,61	42,19	56,46	0,00	0,00
<b>Cloruro de calcio</b>	42,90	52,58	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>2.370,79</b>	<b>2.905,73</b>	<b>2.110,91</b>	<b>2.825,37</b>	<b>2.029,19</b>	<b>2.821,84</b>

Según datos del último informe de la campaña 2018/ 2019 elaborado por la entidad Cajamar el precio medio del tomate fue de 0,656 €/ kg en Almería. Teniendo en cuenta este precio se procede a calcular los beneficios obtenidos por hectárea para cada uno de los tratamientos. La producción obtenida para cada tratamiento se ha estimado en base a la producción media de otros años ya que la producción de nuestro cultivo en este último ciclo se vio afectada por plaga de *Tutta absoluta*. Los ingresos netos obtenidos para cada sistema de cultivo y tratamiento han sido los siguientes:

**Tabla 13.** Beneficio neto producción para T1, T2 y T3.

	Sistema	Producción (kg/m2)	Ingresos (€/ha)
<b>Tratamiento 1</b>	Suelo	5,10	33.456
	Hidropónico	6,60	43.296
<b>Tratamiento 2</b>	Suelo	5,10	33.456
	Hidropónico	5,90	38.704
<b>Tratamiento 3</b>	Suelo	4,40	28.864
	Hidropónico	4,50	29.520

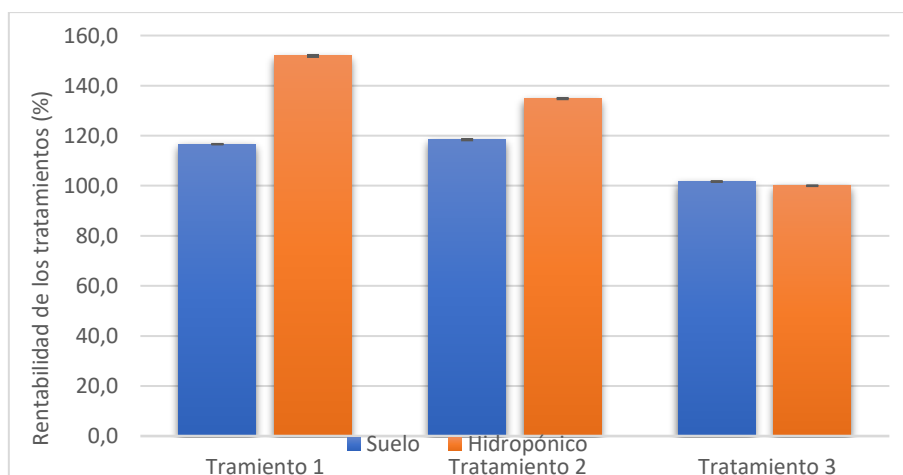
Calculados los ingresos netos obtenidos para una hectárea de tomate bajo invernadero con los rendimientos de nuestro sistema procederemos a calcular los beneficios. Los beneficios son el producto de restar a los ingresos los costes totales (agua de riego y fertilizante) de cada tratamiento y sistema de cultivo. En la *Tabla 14* se observan los beneficios obtenidos para cada sistema y tratamiento:

**Tabla 14.** Beneficios totales para T1, T2 y T3.

	Sistema	Costes agua (€)	Costes fertilizantes (€)	Costes totales (€)	Ingresos (€)	Beneficios (€)
Tratamiento 1	Suelo	1.170,00	2.370,79	3.540,79	33.456	29.915,21
	Hidropónico	1.434,00	2.905,73	4.339,73	43.296	38.956,27
Tratamiento 2	Suelo	965,25	2.110,91	3.076,16	33.456	30.379,84
	Hidropónico	1.291,95	2.825,37	4.117,32	38.704	34.586,68
Tratamiento 3	Suelo	748,80	2.029,19	2.777,99	28.864	26.086,01
	Hidropónico	1.041,30	2.821,84	3.863,14	29.520	25.656,86

Como se puede observar en la *Tabla 14*, la elevada salinidad del tratamiento 3 provoca pérdidas en la producción lo que reduce los beneficios haciéndolo menos rentable. Sin embargo, en el tratamiento 2 en suelo se observa como reduciendo costes de agua y fertilizante, la producción se mantuvo igual que en el tratamiento 1 aumentando así los beneficios obtenidos. Pese a que el tratamiento 2 en hidropónico presenta unos beneficios altos, sigue siendo el tratamiento 1 (menos salino) el de mayor rentabilidad.

Debido a la falta de información sobre el resto de costes asociados al cultivo (manejo de suelo, mano de obra, electricidad, sustrato...) se estudia la rentabilidad de cada tratamiento como diferencias de porcentaje en base al beneficio obtenido. Como se puede observar, en la *Figura 29* se representa de forma gráfica la rentabilidad de cada sistema. Se puede observar como para los tratamientos en suelo el efecto de la salinidad es amortiguado presentando una mayor rentabilidad en el tratamiento 2. Sin embargo, el efecto de la salinidad para los tratamientos en hidropónico ha sido más acusado provocando una reducción en la rentabilidad de estos.



**Figuran 29.** Rentabilidad de los tratamientos (%)

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados correspondientes al análisis de agua de riego nos permiten apreciar el comportamiento experimentado por la concentración de macro y micronutrientes a lo largo del ciclo entre ambos sistemas de cultivo. No observándose diferencias significativas entre el aporte al sistema en suelo y el aporte al sistema en hidropónico. No obstante, se recomienda el incremento de la concentración de nitratos y controlar el nivel de potasio para T3. La concentración de boro en el agua de riego se encuentra en niveles normales, pero se debe prestar atención al aporte de cloruros y sodio.

Los resultados han demostrado que el incremento de salinidad entre tratamientos no afecta al pH, al contenido de carbono orgánico e inorgánico, a la capacidad de intercambio catiónico ni a la textura del suelo.

Respecto al efecto observado en la concentración de macronutrientes, se puede observar como en el caso del fósforo y el magnesio asimilables el incremento de salinidad de los tratamientos provoca un incremento de concentración de estos en suelo. Sin embargo, no se observa este incremento para la concentración de nitrógeno total, potasio y calcio asimilables.

Respecto al efecto observado en la concentración de micronutrientes, en el caso del Mn, Cu y Zn, se puede apreciar como el incremento de salinidad de los tratamientos disminuye la concentración de estos. Únicamente se vio incrementada la concentración de Fe al final del segundo ciclo para T3, por lo que se necesitarían más datos para determinar el efecto sobre la concentración a largo plazo.

En relación al efecto sobre la salinidad y la concentración de aniones y cationes solubles, se puede concluir que el incremento de salinidad del agua de riego provoca un aumento la conductividad eléctrica y a la concentración de cloruros, sodio y sulfatos. Por el contrario, no se aprecia este efecto en la concentración de potasio y magnesio. Por su parte, en el caso de los nitratos la concentración se reduce al aumentar la salinidad de los tratamientos.

En relación al efecto observado sobre las propiedades físicas, se puede apreciar un incremento en el porcentaje de sodio intercambiable con el aumento de la salinidad lo que podría ocasionar un aumento de la inestabilidad estructural del suelo. No obstante, por el momento no se observa ningún efecto sobre otras propiedades físicas como la porosidad, agregados estables y la conductividad hidráulica del suelo.

En relación al efecto observado sobre la absorción de nutrientes por parte del cultivo, se puede apreciar un incremento en la concentración de cloruros y sodio respecto a la salinidad, a pesar de que este incremento se ve reducido en el segundo ciclo. De igual modo, se observan grandes diferencias entre el sistema de cultivo en suelo y el hidropónico para la concentración de macro y micronutrientes. Mientras que las concentraciones en suelo se mantienen en niveles similares entre tratamientos, a excepción del Mg y Fe, se ha registrado una mayor variación para las concentraciones de cultivo hidropónico. Finalmente indicar que la concentración de K y Mg aumentó durante el segundo ciclo mientras que las concentraciones de P, Fe y Zn se redujeron.

En relación a la valoración económica, de los tres tratamientos en suelo e hidropónico, se puede concluir que pese a reducir la rentabilidad del cultivo con el aumento de la salinidad el uso de AMD presenta buenos resultados. El efecto de la salinidad en suelo es menos acusado que para el sistema en hidropónico, como demuestra el incremento de los beneficios para el tratamiento 2. Sin embargo, para el sistema en hidropónico el aumento de la salinidad produce una reducción en la producción que no justifica la reducción de costes en agua y fertilizante.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Bañuelos, G. S., Ajwa, H. A., Cáceres, L., Dyer, D. (1999). *Diferencias de acumulación y tolerancia a altas concentraciones de boro de especies agrícolas entre el Norte de Chile y California* (pp. 31-39).

Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Cohen, S. (2009). Fertilization and Blending Alternatives for Irrigation with Desalinated Water. *Journal of Environmental Quality*, 38(2), 529–536. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2008.0199>

Dell'Amico, J. M., Parra, M. (2005). Efectos del estrés por NaCl en el contenido de cloruros, el potencial osmótico real y el crecimiento de dos cultivares de tomate cubanos. *Cultivos Tropicales*, 26(2), 39-44. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215934007.pdf>

Estevan, A. y García Sánchez-Colomer, M. (2007). El consumo de energía en la desalación de agua de mar por ósmosis inversa: situación actual y perspectivas. *Revista Digital Del Cedex*, 148(2007), 113-124

Junta de Extremadura. (1992). *Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Consejo de abonado. Normas básicas.*

Martínez Álvarez, V., Martín Górriz, B. (2014). Antecedentes y problemática de la aplicación de agua marina desalinizada al riego agrícola. <http://www.scrats.es/ftp/memorias/UPCT%202014.pdf>

Martínez D. 2009. Las aguas de mar desaladas en la agricultura. Capítulo VIII en "Desalación de aguas. Aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos". Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, Murcia

Martínez-Álvarez, V., Martín-Górriz, B., Soto-García, M. (2015). PROBLEMÁTICA DE LA APLICACIÓN DE AGUA MARINA DESALINIZADA AL RIEGO AGRÍCOLA. CASO DE ESTUDIO DEL CANAL DEL CAMPO DE CARTAGENA. *Universidad de Valencia*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85875/1438-2441-2-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, S. (2007). Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate de Ensalada. Estación Experimental Agrícola (Eds.) *Suelo y Preparación del Terreno*. Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico. <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Suelo-y-Preparaci%C3%B3n-del-Terreno-v2007.pdf>

Porta, J., López, M., Roquero C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. (3<sup>o</sup> ed). MundiPrensa. <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre03.pdf>

Soto-García, M., Martínez-Alvarez, V., Martín Górriz, B. (2014). *El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión* (1.<sup>a</sup> ed.). Sindicato Central de Regantes del Acuerdo Tajo-Segura. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/4069>

Sonneveld, C., Straver, N. 1994. Nutrient Solutions for Vegetables and Flower Grow in Water or Substrates (10.<sup>a</sup> ed.) Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk, Naaldwijk, The Netherlands.

Thiagalingam, 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. y Acevedo, E. (2008). EL PROBLEMA DE SALINIDAD EN LOS RECURSOS SUELO Y AGUA QUE AFECTAN EL RIEGO Y CULTIVOS EN LOS VALLES DE LLUTA Y AZAPA EN EL NORTE DE CHILE. *Idesia*, 26(3), 31-44.



United States Department of Agriculture. (2017). *Soil Survey Manual* (Ditzler, C., Scheffe, K. y Monger, H. C., eds.). Government Printing Office.  
<https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>

Urbano, P. (2001). *Tratado de Fitotecnia General*. Mundi-Prensa.

Urrestarazu, M. (2004). *Tratado de Cultivo sin Suelo* (3.<sup>a</sup> ed). Mundiprensa.

Whitlow, R. (1994). *Fundamentos de Mecánica de Suelos* (2.<sup>a</sup> ed). CECSA.

Zapata, R. (2004). Química de la acidez del suelo (pp. 181).  
<http://bdigital.unal.edu.co/1735/1/9583367125.1.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO I. Cálculos

#### -Cálculos proporción de agua de alta salinidad a mezclar para conseguir T2 y T3

$$\left. \begin{array}{l} V_D \times CE_D + V_S \times CE_S = V_T \times CE_T \\ V_D + V_S = V_T \end{array} \right\} \frac{V_d}{V_t} = \frac{CE_t - CE_s}{CE_d - CE_s}$$

$$\frac{V_s}{V_t} = 1 - \frac{V_d}{V_t}$$

$$\text{Caudal de inyección (\%)} = \frac{V_s}{V_d}$$

Donde:

- $V_D$ : Volumen de agua desalinizada
- $V_S$ : Volumen de agua del tanque de alta CE
- $V_T$ : Volumen de agua del tratamiento
- $CE_d$ : Conductividad eléctrica del agua desalinizada
- $CE_s$ : Conductividad eléctrica del agua del tanque de alta CE
- $CE_T$ : Conductividad eléctrica del tratamiento

Por tanto, se procederá al cálculo del volumen de agua a aportar del tanque de alta salinidad para obtener la conductividad deseada en cada uno de los tratamientos:

- Tratamiento 2

$$\frac{V_d}{V_t} = \frac{CE_t - CE_s}{CE_d - CE_s} = (1,5 - 7,6) / (0,5 - 7,6) = 0,859; V_D = 0,859 \times 15000 = 12.887,353 \text{ L}$$

$$\frac{V_s}{V_t} = 1 - \frac{V_d}{V_t} = 1 - 0,859 = 0,141; V_S = 0,141 \times 15000 = 2115 \text{ L}$$

$$\text{Caudal de inyección} = Q (\%) = \frac{V_s}{V_d} = 2115 / 12.887,323 = 16,64\%$$

- Tratamiento 3

$$\frac{V_d}{V_t} = \frac{CE_t - CE_s}{CE_d - CE_s} = (3 - 7,6) / (0,5 - 7,6) = 0,648; V_D = 0,648 \times 15000 = 9720 \text{ L}$$

$$\frac{V_s}{V_t} = 1 - \frac{V_d}{V_t} = 1 - 0,648 = 0,352; V_s = 0,352 \times 15000 = 5280 \text{ L}$$

$$\text{Caudal de inyección} = Q (\%) = \frac{V_s}{V_d} = 5280 / 9720 = 55,44 \%$$

### -Cálculos Valoración Económica

Costes de agua de riego:

Costes de agua (€/m3)	
Agua desalada	0,60
Agua de pozo	0,18

Composición aguas de cada tratamiento:

- T1: Agua marina desalinizada con baja salinidad (0,5 dS/m) (100% AMD)
- T2: Agua marina desalinizada con moderada salinidad (1,5 dS/m) (75% AMD + 25 % AP)
- T3: Agua marina desalinizada con elevada salinidad (3 dS/m) (50% AMD + 50% AP)

-Costes de cada tratamiento:

· Tratamiento 1:

$$100\% \text{ AMD: } \underline{\text{Suelo}} = (Q * \text{Costes}) * \% \text{ Agua } 195 \text{ L/m}^2 * 0,6 \text{ €/m}^3 = 117\text{€}$$

$$\underline{\text{Hidropónico}} = 239 \text{ L/m}^2 * 0,6 \text{ €/m}^3 = 143,4\text{€}$$

· Tratamiento 2:

$$75\% \text{ AMD} + 25\% \text{ AP } \underline{\text{Suelo}} = 0,75 * (195 * 0,6) + 0,25 * (195 * 0,18) = 96,53\text{€}$$

$$\underline{\text{Hidropónico}} = 0,75 * (261 * 0,6) + 0,25 * (261 * 0,18) = 129,2\text{€}$$

· Tratamiento 3:

$$50\% \text{ AMD} + 50\% \text{ AP } \underline{\text{Suelo}} = 0,5 * (192 * 0,6) + 0,5 * (192 * 0,18) = 74,88\text{€}$$

$$\underline{\text{Hidropónico}} = 0,5 * (267 * 0,6) + 0,5 * (267 * 0,18) = 104,13\text{€}$$

	Sistema	Volumen (m3/ha)	Costes (€)
Tratamiento 1	Suelo	1950	1170,00
	Hidropónico	2390	1434,00
Tratamiento 2	Suelo	1950	965,25
	Hidropónico	2610	1291,95
Tratamiento 3	Suelo	1920	748,80
	Hidropónico	2670	1041,30

-Fertirrigación aplicada en cada tratamiento (g/L) (Tabla 10):

g / L	T1	T2	T3
Ácido fosfórico 85%	0,0086	0,1242	0,2167
Nitrato cálcico 15,5% N, 27% CaO	0,5643	0,5628	0,5039
Nitrato potásico (13-0-46)	0,2872	0,5933	0,6713
Nitrato amónico 33,5% N	0	0	0,0043
Sulfato potásico	0,1799	0	0
Fosfato monopotásico (0-51-34)	0,2518	0,1154	0,0063
Nitrato de magnesio 11% N, 15,7% MgO	0,434	0,0373	0
Cloruro de calcio	0,11	0	0

-Precios de los Fertilizantes comerciales

Costes de fertilizante	
Fertilizante	(€/kg)
Ácido fosfórico 85%	0,58
Nitrato cálcico 15,5% N, 27% CaO	0,46
Nitrato potásico (13-0-46)	1,03
Nitrato amónico 33,5% N	0,34
Sulfato potásico	0,68
Fosfato monopotásico (0-51-34)	1,03
Nitrato de magnesio 11% N, 15,7% MgO	0,58
Cloruro de calcio	0,2

Para calcular los costes de cada tratamiento debemos conocer la cantidad de kg de fertilizante empleados para cada tratamiento y sistema. Para ello debemos tener en cuenta el volumen total de agua aplicada en cada uno de ellos. Conociendo la cantidad en g/ L calculamos la cantidad de fertilizante por tratamiento obteniendo los siguientes resultados (kg / tratamiento):

	kg/ tratamiento					
	T1		T2		T3	
	Suelo	Hidropónico	Suelo	Hidropónico	Suelo	Hidropónico
Ácido fosfórico 85%	16,77	20,55	242,19	324,16	416,06	578,59
Nitrato cálcico 15,5% N, 27% CaO	1100,39	1348,68	1097,46	1468,91	967,49	1345,41
Nitrato potásico (13-0-46)	560,04	686,41	1156,94	1548,51	1288,90	1792,37
Nitrato amónico 33,5% N	0	0	0	0	8,26	11,48
Sulfato potásico	350,81	429,96	0	0	0	0

<b>Fosfato monopotásico (0-51-34)</b>	491,01	601,80	225,03	301,19	12,10	16,82
<b>Nitrato de magnesio 11% N, 15,7% MgO</b>	846,30	1037,26	72,74	97,35	0	0
<b>Cloruro de calcio</b>	214,50	262,90	0	0	0	0

-Costes totales:

Los costes totales son el resultado de multiplicar la cantidad de fertilizante empleado (kg) por su precio comercial (€/kg):

€	T1		T2		T3	
	Suelo	Hidropónico	Suelo	Hidropónico	Suelo	Hidropónico
<b>Ácido fosfórico 85%</b>	9,73	11,92	140,47	188,01	241,32	335,58
<b>Nitrato cálcico 15,5% N, 27% CaO</b>	506,18	620,39	504,83	675,70	445,04	618,89
<b>Nitrato potásico (13-0-46)</b>	576,84	707,00	1.191,64	1.594,97	1.327,56	1.846,14
<b>Nitrato amónico 33,5% N</b>	0	0	0	00	2,81	3,90
<b>Sulfato potásico</b>	238,55	292,37	0	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfato monopotásico (0-51-34)</b>	505,74	619,86	231,78	310,23	12,46	17,33
<b>Nitrato de magnesio 11% N, 15,7% MgO</b>	490,85	601,61	42,19	56,46	0,00	0,00
<b>Cloruro de calcio</b>	42,90	52,58	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>2.370,79</b>	<b>2.905,73</b>	<b>2.110,91</b>	<b>2.825,37</b>	<b>2.029,19</b>	<b>2.821,84</b>

-Beneficios obtenidos de la producción:

	Sistema	Producción (kg/m <sup>2</sup> )	Beneficio (€/ha)
<b>Tratamiento 1</b>	Suelo	5,10	33.456
	Hidropónico	6,60	43.296
<b>Tratamiento 2</b>	Suelo	5,10	33.456
	Hidropónico	5,90	38.704
<b>Tratamiento 3</b>	Suelo	4,40	28.864
	Hidropónico	4,50	29.520

-Ingresos de cada tratamiento

Los ingresos de cada tratamiento se han calculado como la diferencia entre los costes totales del cultivo (agua de riego y fertilizante) y los beneficios netos obtenidos de la producción estimada para una hectárea con nuestro rendimiento.

	<b>Sistema</b>	<b>Costes agua (€)</b>	<b>Costes fertilizantes (€)</b>	<b>Costes totales (€)</b>	<b>Beneficio (€)</b>	<b>Ingresos (€)</b>
Tratamiento 1	Suelo	1.170,00	2.370,79	3.540,79	33.456	29.915,21
	Hidropónico	1.434,00	2.905,73	4.339,73	43.296	38.956,27
Tratamiento 2	Suelo	965,25	2.110,91	3.076,16	33.456	30.379,84
	Hidropónico	1.291,95	2.825,37	4.117,32	38.704	34.586,68
Tratamiento 3	Suelo	748,80	2.029,19	2.777,99	28.864	26.086,01
	Hidropónico	1.041,30	2.821,84	3.863,14	29.520	25.656,86

## ANEXO II. Fotografías



**Fotografía 1.** Distribución de las parcelas durante el primer ciclo.



**Fotografía 2.** Muestreo de suelo inicial primer ciclo



**Fotografía 3.** Muestreo de suelo intermedio primer ciclo



**Fotografía 4.** Muestreo de suelo final primer ciclo





**Fotografía 5.** Muestreo de planta final primer ciclo



**Fotografía 6.** Distribución de las parcelas segundo ciclo



**Fotografía 7.** Muestreo de suelo intermedio segundo ciclo



**Fotografía 8.** Muestreo de planta intermedio segundo ciclo



**Fotografía 9.** Muestreo de suelo final segundo ciclo