

Objetivos del proyecto LIFE+ DESEACROP y Resultados alcanzados.

Objetivo principal de LIFE+ DESEACROP

Demostrar la viabilidad y sostenibilidad del uso de agua de mar desalinizada para el riego de cultivos en sistemas hidropónicos cerrados en la región mediterránea, desde un punto de vista productivo, económico, social y medioambiental.

Subobjetivo 1. Caracterizar la capacidad actual y prevista a corto y medio plazo de la producción de agua desalinizada y la superficie potencial para cultivos hidropónicos que puedan ser regados con estos recursos

En el sureste de España, la inversión total en plantas desalinizadoras de agua de mar y los sistemas de distribución asociados asciende a más de 1.500 M€ para una capacidad de producción total de 362 Mm³/año, de los cuales se podrían utilizar hasta 268,3 Mm³/año para riego. La producción de agua marina desalinizada en 2017 en la Cuenca del Segura fue de 148,3 Mm³ y en la Cuenca Mediterránea Andaluza de 29 Mm³. La siguiente Figura muestra estas cifras, que han sido publicadas en Martínez-Alvarez et al. (2019) (Water 2019, 11, 1233; doi:10.3390/w11061233).

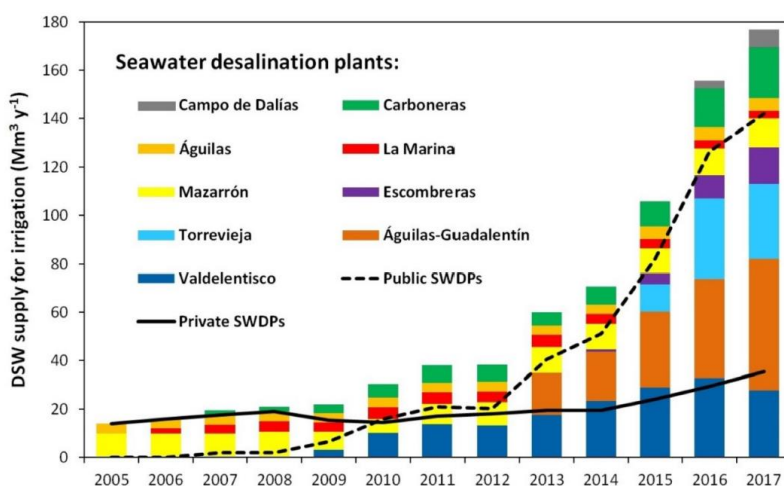


Figura. Evolución del suministro agrícola de agua de mar desalada en el sureste de España por planta desalinizadora. También se describe la producción total en las plantas públicas y privados.

Por otro lado, los resultados de la caracterización de la superficie potencial para cultivos hidropónicos indica que en la región de Almería existen más de 30.000 ha dedicadas al cultivo protegido bajo invernadero de las cuales aproximadamente 6.000 ha se dedican al cultivo en sustrato. Estas 6.000 ha tienen un elevado potencial para implementar los desarrollos demostrados con el proyecto LIFE DESEACROP. La siguiente Figura muestra la evolución de estas cifras en los últimos años.

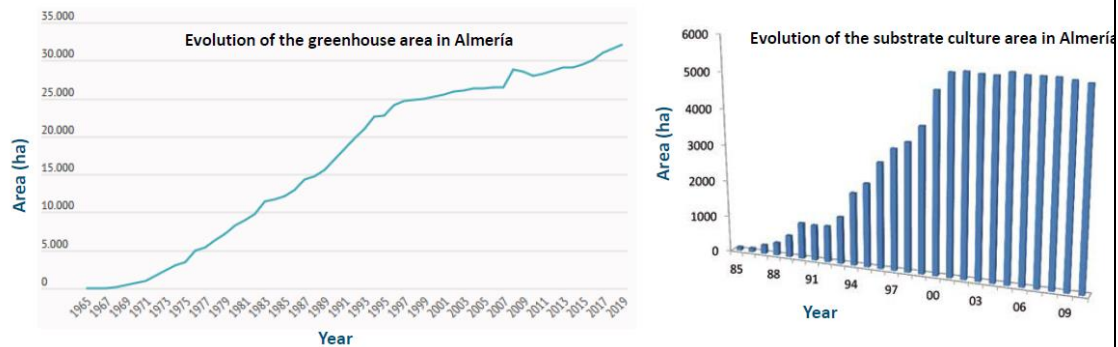


Figura. Evolución de la superficie de cultivo en invernadero y de cultivo en sustrato en la provincia de Almería (sur/este de España)

Subobjetivo 2. Evaluar la calidad del agua desalinizada suministrada para riego y analizar su adaptabilidad para diferentes cultivos en función sus requerimientos para una óptima producción

La calidad físico-química del agua marina desalinizada es singular y se caracteriza por su escasa concentración de iones calcio y magnesio y elevada de sodio, cloruros y boro. Esto hace que su uso en la agricultura de regadío requiera un manejo especializado y adecuado al objeto de preservar la sostenibilidad del suelo y del cultivo. La tabla siguiente muestra las características principales del agua producida en la desaladora costera de Carboneras comparada con estándares de calidad para riego en cultivo sin suelo publicados por De Kreij et al. (1999).

Parameter	Averag. Carboneras	Degree of restriction on use		
		None	Slight to moderate	Severe
EC 20 °C (dS/m)	0,50	<0.75	0,75-2,25	>2.25
Bicarbonates (mg/L)	50,6	<120	120-360	>360
Boron (mg/L)	0,79	<0,33	0,33-1,08	>1.08
Sodium (mg/L)	80,1	<69	69-230	>230
Chloride (mg/L)	129,9	<106	106-355	>355

Comparison between average water quality of the DSW from Carboneras DP and water quality standards for soilless crops (after De Kreij et al., 1999)

Estas diferencias en calidad hacen que el riego con agua marina desalinizada, si no se gestiona de forma adecuada, pueda tener efectos sobre la alcalinización del suelo como se muestra en la Figura siguiente.

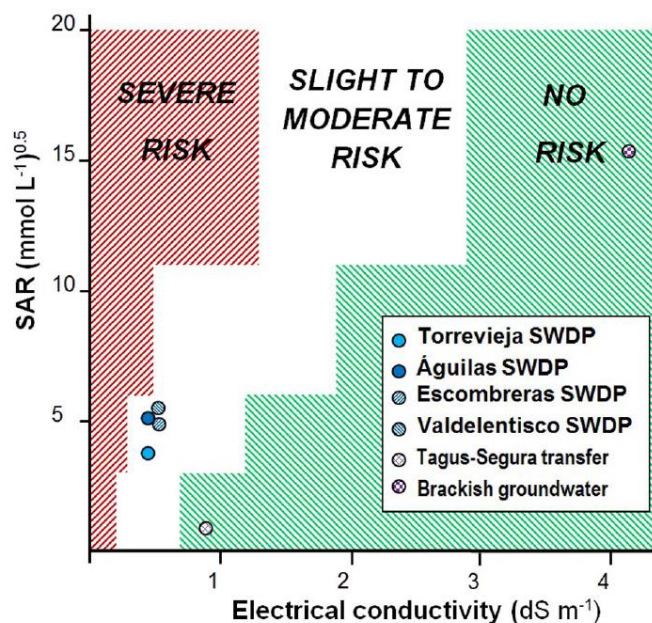


Figura. Riesgo potencial de sodicidad del suelo a medio-largo plazo, evaluado utilizando la relación de adsorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego. Los puntos representan los valores de AMD suministrados por las cuatro mayores plantas desalinizadoras de la Cuenca del Segura, el acueducto Tajo-Segura y agua subterránea salobre en el área de estudio.

Adicionalmente, el riego con un agua de estas características singulares requiere una adaptación experta de los programas de fertirrigación. En este sentido se ha demostrado que el riego únicamente con AMD supone un incremento considerable de los costes de fertilización de algunos cultivos y que las estrategias de mezcla representan una opción más que viable para abaratar los mismos (Martinez-Alvarez et al. (2020) (Ver Figura Siguiente).

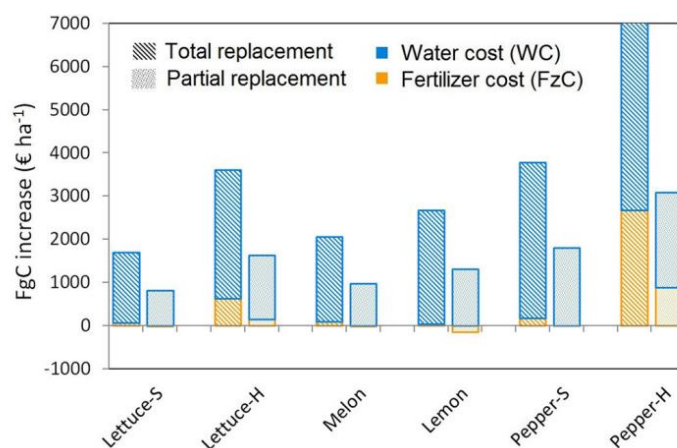


Figura. Incremento del costo de fertirrigación (FgC) para los escenarios de reemplazo total y parcial de agua marina desalinizada.

Subobjetivo 3. Aumentar eficiencia del uso del agua y prevenir lixiviación de nutrientes mediante el tratamiento y recirculación de los drenajes

La experimentación del proyecto LIFE+ DESEACROP ha permitido demostrar la viabilidad del tratamiento de drenajes agrícolas para su posterior reutilización en el riego de cultivos. Este tratamiento elimina la filtración de los mismos al acuífero y por tanto su ulterior contaminación.

La combinación del proceso de ultrafiltración con membranas recicladas y ósmosis inversa ha demostrado ser una alternativa eficaz para el tratamiento, obteniendo un agua tratada de excelente calidad para el riego de cultivos. Sin embargo, una vez conocida la composición del drenaje y su variación a lo largo de los ciclos, sería recomendable instalar una etapa previa a la ósmosis inversa para precipitar los fosfatos y reducir el riesgo de incrustación de las membranas.

Realizar el pretratamiento con membranas recicladas, en lugar de con un pretratamiento físico-químico convencional como estaba previsto inicialmente, ha permitido optimizar el proceso de UF y dar continuidad al proyecto LIFE TRANSFOMEM (LIFE13 ENV/ES/000751).

Durante todo el proyecto se han tratado 60,4 m³ de drenajes, de los cuales se han recuperado 33,7 m³ (56%), reduciendo el consumo global de agua de riego. Además, la recogida y tratamiento de drenajes ha evitado su descarga al acuífero, evitando su contaminación y reduciendo los efectos medioambientales. La siguiente tabla muestra la evolución de los caudales tratados y recuperados durante los cuatro ciclos de cultivo.

Tabla. Evolución de los caudales tratados y recuperados por el sistema de tratamiento de ósmosis inversa alimentado por paneles solares durante los cuatro ciclos de cultivo

	1 ^{er} ciclo	2 ^o ciclo	3 ^{er} ciclo	4 ^o ciclo
Total agua tratada (m ³)	6,3	25,2	14,9	13,9
Producción total de permeado (m ³)	2,9	12,3	9,6	8,9
Agua recuperada total (%)	46%	49%	64%	64%
Agua consumida en limpieza de UF (m ³)	2,5	8,1	2,1	0,5
Agua consumida en limpieza de UF (%)	40%	32%	14%	4%
Rechazo (m ³)	0,9	4,8	3,3	4,5
Rechazo (%)	14%	19%	22%	32%

Subobjetivo 4. Optimizar el uso de agua desalinizada en sistemas hidropónicos para diferentes cultivos con el fin de aumentar la calidad y productividad

En la propuesta del proyecto se indicó que la producción de tomate incrementaría un 119% (de 140.000 a 307.000 kg/ha) al regar con AMD de mejor calidad. En nuestro ensayo demostrativo la producción de tomate incrementó de 90.800 a 132.568 kg/ha; *i.e.* un incremento de 46%, y el uso de agua para riego se redujo un 11% (de 5.340 cuando se regó con agua de pozo a 4780 m³/ha cuando se regó con AMD en un escenario de recirculación de drenajes. Este incremento aun siendo menor que el esperado demuestra que el riego con AMD permite incrementar la productividad del cultivo (kg/m³) de forma significativa con respecto al riego en agua de pozo o el riego en suelo. La menor producción obtenida en nuestro ensayo se debe básicamente a ciclos más cortos de tomate que los previstos y a la aparición de la plaga tuta absoluta que produjo mermas de producción en los cuatro ciclos de cultivo.

Con respecto a la calidad de la fruta producida, el riego con AMD no ha influido en la calidad de la fruta. Los principales resultados del efecto del riego con AMD sobre la calidad de la fruta se han publicado en Antolinos et al. (2020).

Subobjetivo 5. Valorar la viabilidad de reemplazar los cultivos convencionales por cultivos hidropónicos regados con agua de mar desalinizada, proporcionando indicadores de rendimiento del consumo de energía y agua, huella de carbono y costes y rentabilidad del cultivo

En la propuesta del proyecto se indicó que el riego de tomate con AMD podría incrementar 7.4 veces la energía consumida (de 3.840 kW·h/ha/año en un riego hidropónico con agua de pozo a 28.480 kW·h/ha/año en un riego hidropónico con AMD) y la emisión de CO₂ a la atmósfera (de 1.014 kgCO₂/ha/año en un riego hidropónico con agua de pozo a 7.519 kgCO₂/ha/año en un riego hidropónico con AMD). Nuestros resultados indicaron similares incrementos en consumo de energía y emisiones de CO₂ (de 3.197 kW·h/ha/año y 1.178 kgCO₂/ha/año en un riego hidropónico con agua de pozo a 23.804 kW·h/ha/año y 8.772 kgCO₂/ha/año en un riego hidropónico con AMD sin recirculación de drenajes). Sin embargo, estos indicadores expresados de forma específica relacionados con la producción fueron ligeramente superiores en nuestro ensayo demostrativo como consecuencia de la menor producción obtenida (ver subobjetivo 4) debido a básicamente a ciclos más cortos de tomate que los previstos y a la aparición de la plaga tuta absoluta que produjo mermas de producción en los cuatro ciclos de cultivo.

Con respecto a la huella de carbono, aunque el balance final fue menor en nuestro ensayo demostrativo con respecto lo estimado en la propuesta del proyecto (32.053 kgCO₂/ha/año previsto en el proyecto y 8.316 kgCO₂/ha/año calculado en el proyecto), los tomates, a pesar de estar regados con agua desalinizada, de la reducida producción y de los problemas de tuta, se comportaron como sumideros de carbono.

Subobjetivo 6. Evaluar los impactos socioeconómicos y ambientales del uso agua desalinizada para riego, con el fin de informar a las autoridades políticas sobre los desafíos para la futura gestión sostenible de los recursos hídricos para la agricultura

La recuperación del 64% de agua de drenaje para riego y la gestión del 36% restante mediante la mezcla con otros caudales como aguas pluviales representa alcanzar el vertido 0 en nuestro ensayo demostrativo. Esta circunstancia supone que nuestro modelo de agricultura evita completamente el riesgo de contaminación del acuífero ayudando por lo tanto a su conservación y a su sostenibilidad.

Con respecto al impacto económico, el riego hidropónico con AMD ha permitido determinar los siguientes indicadores económicos y sociales mostrados en la siguiente tabla.

Tabla. Valores de los indicadores para las diferentes estrategias. H: Hidropónico; S: Suelo; T1: AMD; T2: Pozo 1 y T3: Pozo 2

ITEM	INDICATOR	ESTRATEGIES					
		H-T1	H-T2	H-T3	S-T1	S-T2	S-T3
Crop yield	Average crop yield (kg/ha)	66.438	64.375	44.675	55.378	54.311	47.353
Cost measures	Direct costs (€/ha)	39,837	39,712	37,458	36,577	36,494	35,280
	Indirect costs (€/ha)	11,897	11,897	11,897	10,158	10,158	10,158
	Total production costs (€/ha)	51,734	51,609	49,355	46,735	46,652	45,438
	Unitary production costs (€/kg)	0.7787	0.8017	1.1048	0.8439	0.8590	0.9596
	Unitary water costs (€/kg)	0.0169	0.0166	0.0169	0.0148	0.0138	0.0112
	Unitary energy costs (€/kg)	0.0173	0.0185	0.0239	0.0009	0.0009	0.0009
	Unitary fertilization costs (€/kg)	0.0415	0.0435	0.0591	0.0328	0.0348	0.0336
	Unitary labour cost (€/kg)	0.3509	0.3597	0.4813	0.4046	0.4109	0.4566
Productivity measures	Land productivity (€/ha)	55,458	53,736	37,292	46,226	45,336	39,528
	Water productivity (€/m³)	23.60	22.01	17.06	27.03	26.58	25.82
	Labour productivity (€/day)	142.7	139.2	104.1	123.8	121.9	109.7
	Energy productivity (€/kWh)	5.34	4.98	3.86	108.12	106.31	103.28
	Productivity per tonne of CO ₂ (€/tonne)	4.15	4.09	3.64	5.98	6.62	8.47
Profitability measures	Crop gross margin per hectare (€/ha)	15,621	14,024	-166	9,649	8,842	4,247
	Farm net margin per hectare (€/ha)	4,451	2,854	-11,336	218	-589	-5,184
	Gross margin per unit of irrigation water (€/m³)	6.65	5.74	-0.08	5.64	5.18	2.77
	Net margin per unit of irrigation water (€/m³)	1.89	1.17	-5.19	0.13	-0.35	-3.39
	Crop gross margin per power use (€/kWh)	1.50	1.30	-0.02	22.57	20.73	11.10
	Farm net margin per power use (€/kWh)	0.43	0.26	-1.17	0.51	-1.38	-13.54
	Gross margin per unit tonne of CO ₂ (€/tonne)	1.17	1.07	-0.02	1.25	1.29	0.91
	Net margin per tonne of CO ₂ (€/tonne)	0.33	0.22	-1.11	0.03	-0.09	-1.11
Social indicators	Labour use per hectare (days/ha)	389	386	358	373	372	360
	Labour use per unit of irrigation water (days/m³)	0.1653	0.1581	0.1640	0.2183	0.2180	0.2354
	Labour use per kWh (days/kWh)	0.0374	0.0358	0.0371	0.8733	0.8721	0.9415
	Labour use per tonne of CO ₂ (days/tonne)	0.0291	0.0294	0.0350	0.0483	0.0543	0.0772

Subobjetivo 7. Transferir los resultados a otras regiones europeas e internacionales con contextos similares de escasez de recursos hídricos

Mediante el proyecto LIFE+ DESEACROP se identificaron y caracterizaron diferentes zonas potenciales de implementación del proyecto (Ver Figura Siguiente).



Figura. Áreas potenciales para la implementación del modelo DESEACROP en Europa.

Se prepararon varios casos de negocios siguiendo el modelo de tripe capa Canvas

SUSTAINABLE BUSINESS MODEL :

- Key partners
- Key activities
- Key resources
- Value proposal
- Relationship with customers
- Customer Segments
- Key resources
- Channels
- Cost structure
- Sources of income
- Social and environmental cost
- Social and environmental benefit

Triple Layer Business Model Canvas (TLBMC):

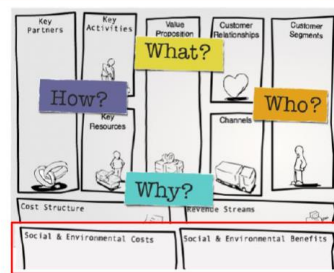


Figura. Modelo Canvas para desarrollar los modelos de negocio.

Finalmente se presentaron dos casos de negocio a la Comunidad de Regantes de Campo de Cartagena y a la MINISTRY FOR AGRICULTURE, FISHERIES, AND ANIMAL RIGHTS de Malta



Figura. Presentación de casos de negocio DESEACROP a (a) Agriculture Directorate Rural Affairs Department del Ministry for Agriculture, Fisheries, and Animal Rights de Malta y a (b) Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena en España.

RESULTADOS OBTENIDOS EN NETWORKING

Tabla. Actividades de Networking

PROYECTO	FECHA	PROPÓSITO Y CONCLUSIONES ALCANZADAS
LIFE DRAINUSE	05/2018	Conocer un Proyecto LIFE similar al nuestro para tratar de obtener mayor rendimiento y resultados.
DESERT (WATER JPI PROJECT)	07/2018	Analizar el funcionamiento de una planta de tratamiento por ósmosis inversa para el tratamiento de agua regenerada con tratamiento terciario. Modelo de cultivo similar al propuesto en LIFE+ DESEACROP
EMPRESA AZUD	11/2018	Visitar una empresa líder en fabricación y venta de materiales y equipos de riego de alta precisión. Darle a conocer nuestro proyecto
SEARRISOST (RTC PROJECT)	09/2019	Compartir experiencias con un proyecto que evalúa la implementación de agua marina desalinizada en cítricos y que testea diferentes equipos para la reducción de boro en parcela y para una fertirrigación experta a la demanda
AGREMSOIL (LIFE PROJECT)	09/2019	Conocer un Proyecto donde se regeneran parcelas mediante ozonización y solarización. Aspectos interesantes en el caso de que el riego con AMD pueda generar deterioro de suelo en el medio-largo plazo.

RESULTS OBTAINED AS REGARDS BORON

El boro es un oligoelemento esencial para el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos hortofrutícolas. Su disponibilidad en el suelo y el agua de riego es un determinante importante de la producción agrícola. Sin embargo, pueden aparecer signos de toxicidad cuando las plantas están expuestas a altas concentraciones de B y, generalmente, hay una pequeña ventana entre la deficiencia y la toxicidad (Ver Figura).

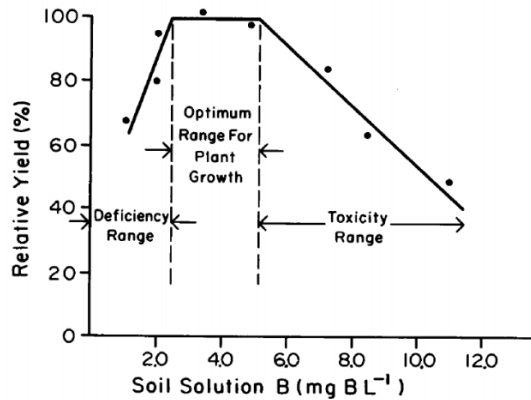


Figura. Rendimiento relativo teórico influenciado por el boro de la solución del suelo. Fuente: Gupta et al., 1985

Las concentraciones de boro en las aguas de riego superficiales generalmente son menores que 0,1 mg/L, pero pueden exceder 1 mg/L en algunos suministros como el agua de marina desalinizada. Los síntomas de toxicidad por boro generalmente son el resultado de la combinación de la concentración de B en el agua de riego por encima de 1 mg/L y el manejo de cultivos sensibles, por lo tanto, existe una preocupación creciente sobre el riesgo de toxicidad asociado al riego con agua de mar desalinizada cuando se manejan cultivos sensibles.

La concentración de boro en el agua marina desalinizada durante el ensayo demostrativo ha sido próxima 1 mg/l (Figura) como especifica la regulación de producción en España para la producción en plantas desalinizadoras costeras (max. 1 mg/l de boro).

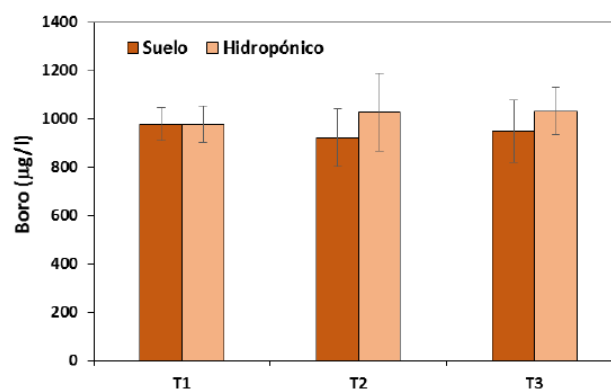


Figura. Contenido en boro en el agua de riego para cada tratamiento. T1: AMD; T2: Pozo 1 y T3: Pozo 2

El tomate se ha descrito en la literatura como un cultivo tolerante al Boro con niveles de sensibilidad entre 4 y 6 mg/l (Maas 1990).

En nuestro ensayo demostrativo los efectos del Boro sobre el suelo para cada ciclo de cultivo se presentan en la siguiente figura.

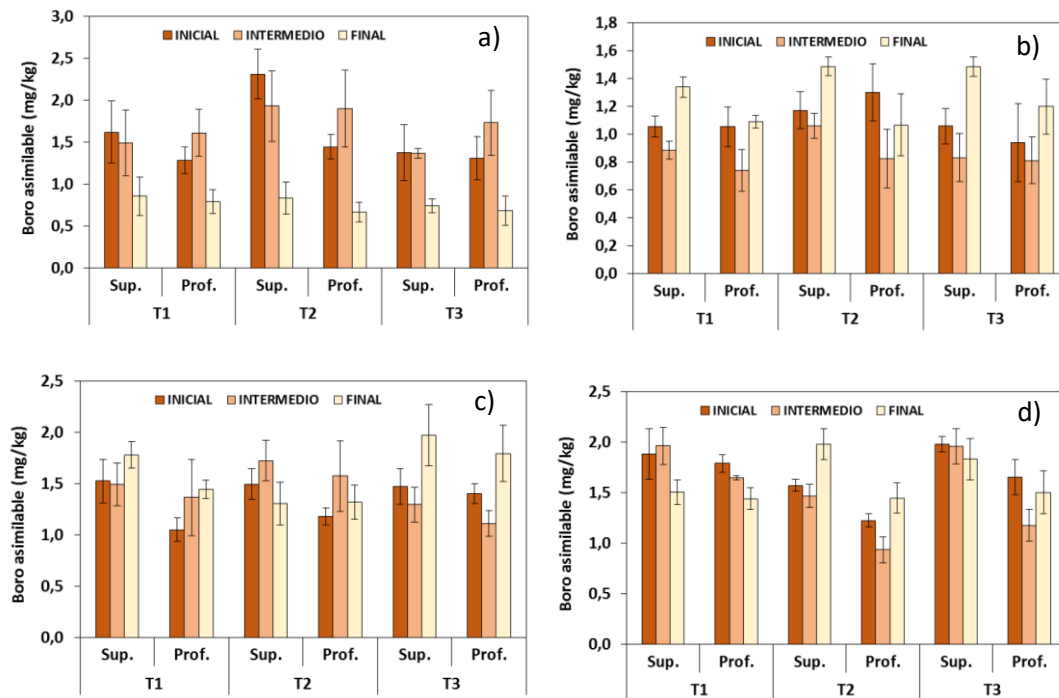


Figura. Evolución de la concentración de boro en los suelos de los tres tratamientos (T1: AMD; T2: Pozo 1 y T3: Pozo 2; (a) primer ciclo, (b) segundo ciclo, (c) tercer ciclo y d) (cuarto ciclo).

En el ensayo demostrativo no se observó una acumulación significativa de boro en el suelo durante los cuatro ciclos de cultivo. 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).

En nuestro ensayo demostrativo los efectos del Boro sobre el cultivo para cada ciclo de cultivo se presentan en la siguiente figura.

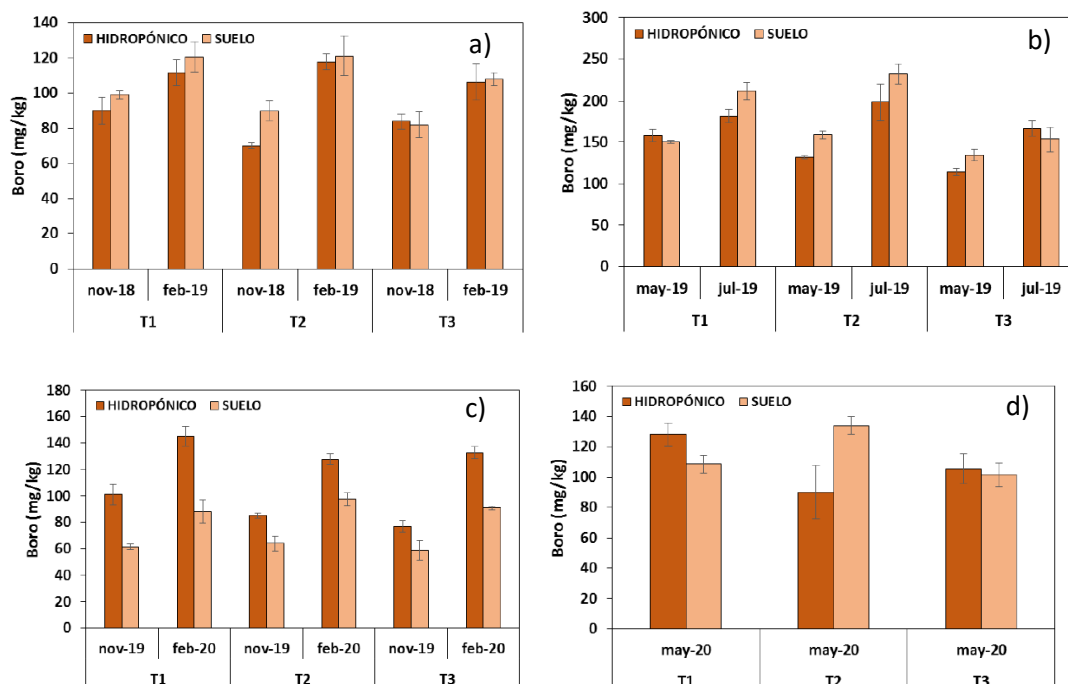


Figura. Evolución de las concentraciones de boro en las plantas de los tres tratamientos (T1: AMD; T2: Pozo 1 y T3: Pozo 2; (a) primer ciclo, (b) segundo ciclo, (c) tercer ciclo y d (cuarto ciclo).

Los niveles alcanzados superan en algunos muestreos la concentración umbral de 100 mg/kg citada en bibliografía como la concentración a partir de la cual se podrían comenzar a observar efectos negativos en el cultivo de tomate (Junta de Extremadura, 1992). Sin embargo, el tomate es un cultivo tolerante al boro como se comentó anteriormente y no se han visto efectos negativos sobre el cultivo.