

PB-02-2023

Comunicación científico-técnica

Influencia del diseño agronómico en la acumulación de boro en arboles de limonero temprano 'Fino 49'

Influence of agronomic design on boron accumulation in early-season lemon trees 'Fino 49'

Robles, J.M.¹ Navarro, J.M.¹ Hernández, F.M.¹ Palazón, J.A.¹ Arques, E.M.¹ Morote, E.I.¹ Botía, P.¹ Pérez-Pérez, J.G.^{1,2}.

- 1 Equipo de Riego y Fisiología del Estrés, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA), 30150 La Alberca, Región de Murcia, juanm.robles@carm.es
- 2 Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), 46113 Moncada, Valencia

Resumen:

La Región de Murcia es la principal productora de limón de España. Sin embargo, la climatología en esta región es semiárida, y bajo estas condiciones, la viabilidad de las explotaciones agrícolas depende principalmente de la disponibilidad y manejo agronómico de los recursos hídricos. En la actualidad, los agricultores complementan parte de los recursos hídricos convencionales disponibles con otros recursos no convencionales, como el agua de mar desalada o las aguas depuradas. Sin embargo, estos recursos no convencionales pueden presentar elevadas concentraciones de cloro, sodio y especialmente boro (B), que puede reducir la productividad de cultivos especialmente sensibles, como los cítricos, que presentan bajos umbrales de fitotoxicidad por boro ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ en el agua de riego). Respecto al manejo agronómico, mejoras en el diseño agronómico de la instalación de riego buscando un incremento de la superficie mojada pueden, por un lado, ayudar a aumentar la capacidad hidráulica de la planta, lo que podría favorecer la productividad del cultivo, pero también favorecen la acumulación en hoja de diferentes elementos minerales. Por lo tanto, el objetivo del experimento fue evaluar si un aumento en el volumen mojado del suelo al incrementar el número de goteros por árbol puede favorecer la acumulación de boro en hoja y cómo responde agronómicamente el cultivo. El ensayo se llevó a cabo durante tres campañas (2017-2019) en una parcela experimental en Torre Pacheco (Murcia), en árboles adultos de limonero 'Fino 49' injertados sobre *Citrus macrophylla*. Se han evaluado dos diseños del sistema de riego: diseño convencional (2L), con dos tuberías portagoteros (6 goteros árbol⁻¹); y un diseño con mayor superficie mojada (3L), con tres tuberías (9 goteros árbol⁻¹), aplicando la misma cantidad de agua de riego en ambos tratamientos. Se realizó un seguimiento periódico de la calidad del agua de riego recibida en el embalse de la parcela (pH, CE, Na, Cl, Ca, Mg, y principalmente B). En noviembre de cada campaña se realizó un muestro foliar en 12 árboles por tratamiento

para el análisis de contenido mineral en hoja de macronutrientes y micronutrientes (principalmente B). En los mismos árboles, se realizó la cosecha, determinando el número de frutos cosechados y los kilogramos obtenidos por árbol. Los principales resultados indicaron que los valores promedio de B en el agua de riego durante el periodo experimental estuvieron muy cercanos a los $0,50 \text{ mg L}^{-1}$. Esto se vio reflejado en los niveles de B en hoja, que se incrementaron anualmente, hasta alcanzar en la última campaña valores de 197 ppm y 179 ppm en el tratamiento 2L y 3L respectivamente, más del doble de los registrados en 2017. Dicho aumento del contenido de B en hoja estuvo relacionado significativamente con una reducción de la producción, en un 44% y 41%, debido a una disminución del número de frutos cosechados del 50% y 47% en el tratamiento 2L y 3L respectivamente, respecto a la primera campaña. Por lo tanto, los diferentes diseños agronómicos estudiados respondieron de manera similar a la acumulación de boro en hoja con similares efectos sobre la producción.

Palabras clave: Sistema de riego, cítricos, producción

Abstract:

The Region of Murcia is the main lemon producer in Spain. However, the climate in this region is semi-arid, and under these conditions, the viability of agricultural operations depends mainly on the availability and agronomic management of water resources. Currently, farmers complement part of the available conventional water resources with other non-conventional resources, such as desalinated seawater or treated water. However, these unconventional resources can present high concentrations of chlorine, sodium and especially boron (B), which can reduce the productivity of especially sensitive crops, such as citrus, which have low thresholds of phytotoxicity due to boron (0.5 mg L^{-1} in irrigation water). Regarding agronomic management, improvements in the agronomic design of the irrigation installation seeking an increase in the wetted surface can, on the one hand, help to increase the hydraulic capacity of the plant, which could favour crop productivity, but also favours the accumulation in leaf of different mineral elements. Therefore, the objective of the experiment was to evaluate whether an increase in the wetted volume of the soil by increasing the number of drippers per tree can favour the accumulation of boron in the leaf and how the crop responds agronomically. The trial was carried out during three seasons (2017-2019) in an experimental orchard in Torre Pacheco (Murcia), on adult 'Fino 49' lemon trees grafted on *Citrus macrophylla*. Two designs of the irrigation system have been evaluated: conventional design (2L), with two dripper pipes (6 tree-1 drippers); and a design with a greater wetted surface (3L), with three pipes (9 tree-1 drippers), applying the same amount of irrigation water in both treatments. A periodic monitoring of the quality of the irrigation water received in the orchard's reservoir was carried out (pH, EC, Na, Cl, Ca, Mg, and mainly B). In November of each season, a leaf sample was carried out on 12 trees per treatment for the analysis of leaf mineral content of macronutrients and micronutrients (mainly B). The harvest was carried out on the same trees, determining the number of fruits harvested and the kilograms obtained per tree. The main results indicated that the average values of B in the irrigation water during the experimental period were very close to 0.50 mg L^{-1} . This was reflected in the leaf B levels, which increased annually until reaching values of 197 ppm and 179 ppm in the 2L and 3L treatment respectively in the last season. Said increase in the B content in the leaf was significantly related to a reduction in

production, by 44% and 41%, due to a decrease in the number of fruits harvested of 50% and 47% in the 2L and 3L treatment respectively, compared to the first season. Therefore, the different agronomic designs studied responded similarly to leaf boron accumulation with similar effects on production.

Keywords: Irrigation system, citrus, production

1. Introducción

Las principales zonas productoras de limón en España se encuentran ubicadas en el sureste de la Península Ibérica. La Región de Murcia es la principal productora de limón de España, con un total de 546.460t, seguida de Alicante con 253.416t, Almería con 40.728t y Málaga con 40.523t para la campaña de 2022 [1]. La Región de Murcia, incluida en la Demarcación Hidrográfica del Segura, se caracteriza por presentar unas condiciones climáticas semiáridas, con escasas precipitaciones, veranos secos y calurosos con una alta demanda evaporativa. Además, el elevado déficit estructural de agua que sufre esta zona [2] la convierte en la que presenta mayor déficit hídrico de la UE. A esto hay que añadir, las posibles consecuencias del cambio climático (CC), donde se espera que para mediados de siglo la disponibilidad de agua haya disminuido un 40% en algunas regiones, afectando a la sostenibilidad de determinados cultivos debido a un aumento de la escasez de agua [3]. En este sentido, también se prevé un aumento de las temperaturas y un más que probable aumento de la evaporación, combinados con una mayor incertidumbre sobre las precipitaciones. Esto tendrá una influencia significativa sobre las necesidades de agua de riego en el cultivo de cítricos, especialmente durante los meses de verano [4], aumentando la demanda de agua del cultivo, lo que puede agravar el ya existente desequilibrio entre la demanda de agua de riego y los recursos disponibles para el cultivo [5]. Por lo tanto, en este contexto es necesario el uso de recursos hídricos no convencionales, de hecho, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha propuesto la desalinización del agua de mar o el uso de aguas depuradas como una opción potencial para adaptar la agricultura a los impactos del CC, especialmente en regiones áridas y semiáridas [6]. En la actualidad, los agricultores o comunidades de regantes como la del Campo de Cartagena, complementan parte de los recursos hídricos convencionales disponibles con otros recursos no convencionales, principalmente con agua marina desalinizada (AMD) y en menor medida con aguas regeneradas o depuradas [7,8,9], ya que, el principal problema que tiene el regadío en esta zona es la falta de garantía en la disponibilidad de agua tanto en términos de cantidad como de calidad. A este respecto, el AMD, que ya representa en torno al 30% de los recursos hídricos disponibles, juega un papel muy importante en el riego agrícola, y su importancia seguirá en aumento [7,8,9]. Sin embargo, estos recursos no convencionales pueden presentar elevadas concentraciones de cloro, sodio y especialmente boro (B), que puede reducir la productividad de cultivos especialmente sensibles, como los cítricos, que presentan bajos umbrales de fitotoxicidad por boro ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ en el agua de riego)[10,11]. En este sentido, la concentración de boro del AMD empleada para riego se ha situado de forma habitual en torno a 1 mg L^{-1} , límite establecido por extensión del máximo valor permitido en AMD destinada a consumo humano (Real Decreto 140/2003). Destacar, que en la actualidad la normativa vigente (Real Decreto 3/2023) permite producir AMD con una concentración de

boro mayor ($1,5 \text{ mg L}^{-1}$), lo que puede perjudicar aún más la viabilidad de los cultivos más sensibles, como los cítricos ya que es 3 veces superior al umbral de fitotoxicidad establecido para cítricos. Por lo tanto, lo ideal para riego agrícola en cítricos, cuando sea posible, es la mezcla con otros recursos convencionales, para diluir la cantidad de boro del AMD a niveles adecuados y evitar la acumulación de elevadas concentraciones de boro en hoja causando efectos adversos en la planta tales como reducción de la capacidad fotosintética [12].

Por otro lado, en relación con el manejo agronómico del cultivo, es vital la búsqueda de estrategias que permitan optimizar los recursos hídricos, que mejoren la eficiencia en el uso del agua y hagan viable la actividad. La finalidad es intentar que durante los meses de máxima demanda, en los que se concreta el calibre final del fruto, éste se vea afectado lo menos posible por limitaciones hídricas, principalmente en las variedades de limonero de recolección temprana. Mejoras en el diseño agronómico buscando un incremento de la superficie mojada pueden ayudar a aumentar la capacidad hidráulica de la planta. Resultados previos donde se ha aumentado el número de goteros pero se ha aplicado la misma cantidad de agua, nos han mostrado un incremento del número de frutos en verde recolectados en primer corte de limón, lo que puede generar beneficios económicos debido al incremento de la precocidad. Además, en los años secos, este diseño agronómico ha disminuido el número de frutos derivados a industria (afectados de endoxerosis) [13]. Nuestra hipótesis de trabajo fue que el uso de una tercera línea de goteo adicional, pero aplicando la misma dosis de agua de riego por árbol, permitiría un aumento del volumen de suelo mojado de la zona radicular y una mayor uniformidad en la distribución del agua en el suelo, lo que podría favorecer la respuesta productiva en el limonero 'Fino 49', pero podría incrementar la acumulación en la planta de microelementos como el boro cuando los niveles medios del agua de riego utilizada estuviesen próximos al valor umbral de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Por lo tanto, el objetivo del experimento fue evaluar si un aumento en el volumen mojado del suelo al incrementar el número de goteros por árbol puede favorecer la acumulación de boro en hoja y cómo responde agronómicamente el cultivo.

2. Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo durante tres campañas consecutivas (2017-2019) en una finca experimental ubicada en Torre Pacheco (Murcia). El suelo de la finca se clasifica como aridisol, con un 24% arcilla, 18% limo y 58% arena (suelo franco arcilloso arenoso), un contenido de materia orgánica de 1,88% (p/p), CE para un extracto de agua del suelo ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) de $1,24 \text{ mS cm}^{-1}$, 12,84% CaCO_3 activo y un pH de 7,4. El agua de riego utilizada procedió de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, donde se realizó un seguimiento de su composición en la toma de entrada al embalse regulador de riego de la finca. El clima fue mediterráneo semiárido, con una radiación solar media diaria durante los 3 años del experimento de 214 W m^{-2} ($\approx 9,8$ horas solares), una temperatura media del aire de $17,6 \text{ }^\circ\text{C}$, una precipitación anual de 359 mm, y una evapotranspiración total anual de referencia (ET_0), calculada mediante el método de Penman-Monteith [14,15], de 1234 mm (promedio de tres años) (Tabla 1). Los parámetros climáticos se obtuvieron diariamente de una estación meteorológica situada en la huerta experimental (estación TP-91 de la red de estaciones del Servicio de Información Agraria de Murcia [SIAM-IMIDA]).

El material vegetal utilizado fueron árboles adultos de limonero (*Citrus limon* (L.) Burm. fil.) de la variedad 'Fino 49' injertados sobre portainjerto *Citrus macrophylla* Wester (CM) con una edad de 24 años. El marco de plantación fue de 3 m entre árboles y 8 m entre calles. Se aplicó el riego mediante dos diseños diferentes de la instalación de riego: por un lado un diseño convencional (2L), con dos tuberías portagoteros, una a cada lado del árbol (a 1,5 m del tronco) y 6 goteros árbol⁻¹; y por otro lado un diseño con mayor superficie mojada (3L), en la que se implementó el diseño convencional con una tercera tubería instalada junto al tronco, con 9 goteros árbol⁻¹ en total. En ambos casos se utilizó tubería PEBD con goteros integrados de 3,5 L h⁻¹ (UniRam™, Netafim, Tel Aviv, Israel). En ambos sistemas de riego la dosis y frecuencia de riego fueron las mismas (100% de la evapotranspiración diaria del cultivo [ETc]), y sólo se modificó el tiempo de riego según el número de goteros de cada tratamiento, para poder aplicar la misma cantidad de agua de riego. La programación del riego se realizó estimando la dosis de riego en base a la ETc acumulada durante la semana anterior, obtenida según la ecuación de Doorenbos y Pruitt [14]. Los valores de Kc aplicados durante el periodo experimental se obtuvieron del Servicio de Información Agraria de Murcia (SIAM-IMIDA) para limonero Fino de recolección temprana injertado sobre *C. macrophylla*. La cantidad promedio anual de fertilizante aplicado en ambos sistemas de riego durante el experimento fue de 646 g de N, 220 g de P₂O₅, 522 g de K₂O, 21 g de MgO y 111 g de quelato de Fe por árbol, suministrados a través del sistema de fertirrigación. El riego y la fertirrigación se controlaron automáticamente mediante un programador de riego (mod. Xilema NX300, Novedades Agrícolas, Torre Pacheco, España) y válvulas electrohidráulicas (mod. uPVC, Regaber, Parets del Vallès, España). El diseño experimental fue de bloques al azar, con 3 árboles controlados por bloque y cuatro bloques por tratamiento.

Periódicamente, cada vez que se procedía al llenado del embalse de regulación existente en la parcela experimental se realizaron muestreos de agua a la entrada del mismo. Dichas muestras se recogían en un recipiente de cristal y se transportaban en una nevera portátil opaca con hielo hasta el laboratorio del IMIDA. Se midió la CE con un conductímetro (Crison, EC-meter GLP 31, Alella, Barcelona, España) y el pH con un medidor de pH (Crison, pH-meter GLP 21, Alella, Barcelona, España), cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺), B, micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn) se analizaron utilizando un ICP (Varian MPX Vista, Palo Alto, CA, USA) y aniones (Cl⁻, SO₄²⁻) del agua de riego se midieron mediante cromatografía iónica con un cromatógrafo líquido (Thermo Scientific Dionex, modelo ICS-3000, Logan, Utah, USA).

En el mes de noviembre de cada campaña se tomaron muestras foliares para evaluar el contenido mineral de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na y Cl) y micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn y B) en hoja. Las muestras de hojas consistieron en doce muestras por sistema de riego (tres muestras por bloque, de diferentes árboles), cada una compuesta por 25 hojas completamente maduras (brotación de primavera). Las hojas se enjuagaron brevemente en agua desionizada, se secaron en horno a 60 °C, y se molieron con un molino centrífugo y se tamizaron con un tamiz de 5 mm de diámetro de luz. El tejido foliar seco y molido se calcinó y las cenizas se disolvieron con HNO₃ para determinar la presencia de P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Cu, Mn, Zn y B utilizando un ICP (Varian MPX Vista, Palo Alto, CA, USA). El N total se determinó con un analizador de nitrógeno de combustión directa Leco FP-428 (Leco, Co., St. Joseph, MI, USA). Se extrajeron cloruros de 0,5 g de hojas molidas con 25 ml de agua

desionizada y se midieron mediante cromatografía iónica con un cromatógrafo líquido (Thermo Scientific Dionex, modelo ICS-3000, Logan, Utah, USA).

El control de cosecha se realizó en dos cortes, retirando en el primer corte los frutos que superaron el calibre comercial ($\varnothing > 58$ mm) en el mes de octubre. El segundo corte se realizó en diciembre y se recogieron todos los frutos restantes. En cada corte, se pesaron y contaron todos los frutos por árbol y se calculó el peso medio de fruto. La producción total se determinó como la suma de ambos cortes.

3. Resultados y discusión

3.1. ET_0 , precipitación y agua aplicada

La ET_0 anual fue similar en 2017 (1.264 mm) y 2018 (1.246 mm), pero en 2019 (1.192 mm) fue ligeramente inferior (Tabla 1). La precipitación anual mostró un patrón diferente durante el periodo experimental, considerando el año 2017 como una temporada seca (165 mm) en comparación con los años 2018 y 2019, que alcanzaron precipitaciones acumuladas de 400 mm en 2018 y 512 mm en 2019 (Tabla 1). Durante el período experimental, la distribución temporal de las precipitaciones siguió un patrón similar, caracterizándose por escasez durante los meses de mayo, junio, julio y mediados de agosto y precipitaciones regulares distribuidas durante el resto de la temporada. Por otra parte, en el año 2019 se presentaron precipitaciones muy altas en septiembre (250 mm). La dosis de agua aplicada en cada sistema de riego fue prácticamente similar durante el período experimental (Tabla 1), con unas diferencias medias del 1% como consecuencia de la limpieza anual de cada sistema de riego.

Tabla 1. Evapotranspiración anual (ET_0), lluvia (P) y agua aplicada para cada sistema de riego (dos líneas [2L] y tres líneas [3L]) durante el periodo experimental (2017 a 2019).

| Campaña | ET_0 (mm) | P (mm) | Agua aplicada (mm) | |
|--------------------|-------------|--------|--------------------|-----|
| | | | 2L | 3L |
| 2017 | 1264 | 165 | 605 | 609 |
| 2018 | 1246 | 400 | 590 | 594 |
| 2019 | 1192 | 512 | 536 | 545 |
| Promedio 2017–2019 | 1234 | 359 | 577 | 583 |

3.2 Características del agua aplicada durante el experimento

Los principales parámetros medios de la calidad de agua de riego utilizada de la Comunidad de Regantes durante el periodo experimental de 2017-2019 son similares a los mostrados en otros experimentos que utilizaban aguas de otras procedencias no convencionales [16] (Tabla 2). Sin embargo, como antecedentes al experimento, resulta conveniente señalar que principalmente los valores medidos en el agua de riego de Cl^- , Na^+ y sobre todo B, se han incrementado considerablemente (Tabla 2) respecto a los datos promedio de 2014-2016. En ese periodo, los valores medios fueron de Cl^- ($100,80 \text{ mgL}^{-1}$), Na^+ ($67,30 \text{ mgL}^{-1}$) y B^{3+} ($0,17 \text{ mgL}^{-1}$). Esto sería consecuencia de la incorporación de recursos no convencionales a la Comunidad de Regantes, principalmente el agua marina desalinizada.

Tabla 2. Promedio de la composición físico-química del agua de riego de la comunidad de regantes empleada durante el periodo experimental (2017 a 2019).

| pH | CE (dSm ⁻¹) | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | B ³⁺ |
|-------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | | | | | (mgL ⁻¹) | | | |
| 8,4 ±0,2 | 1,19 ±0,1 | 173,35 ±9,1 | 202,39 ±20,1 | 126,86 ±14,1 | 6,40 ±0,4 | 59,24 ±1,7 | 32,65 ±3,3 | 0,48 ±0,03 |

Del promedio del análisis físico-químico se desprende que se trata de un agua de salinidad moderada, apta para el cultivo de cítricos (CE < 1,5 dSm⁻¹) [17]. Sin embargo, cabe destacar, que las concentraciones de Cl⁻, Na⁺ y B en el agua de riego, superaron ligeramente el umbral máximo establecido para riego en cítricos en 152-238, 115 y 0,5 mgL⁻¹ respectivamente [18,19] y, por lo tanto, podrían provocar efectos perjudiciales sobre el cultivo por su acumulación en la planta.

3.3 Contenido foliar de iones y cationes perjudiciales. Respuesta productiva

Las concentraciones de Na⁺ y Cl⁻ en las hojas de limonero no mostraron diferencias entre los diseños de la instalación de riego estudiados, aunque presentaron una tendencia a ir acumulándose en el cultivo, respecto de los datos obtenidos en la primera campaña (Tabla 3). Aunque los niveles de Na⁺ superaron ligeramente los valores umbrales en el agua de riego (115 mg L⁻¹ [18]) y los de Cl⁻ se mantuvieron dentro del intervalo de 152-238 mg L⁻¹ [18] (Tabla 2), los niveles obtenidos en el análisis foliar realizado en noviembre fueron considerablemente inferiores a los niveles foliares umbrales propuestos en cítricos del 0,1% en el caso de Na⁺ y del 0,6% en el Cl⁻ [18,20]. Esto podría deberse a que el portainjerto CM es más acumulador de Na⁺ y Cl⁻ en otras partes del cultivo como pueden ser las raíces [21], lo que explicaría sus bajos niveles de estos elementos en hoja. Respecto al B, únicamente se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos en la primera campaña (Tabla 3), con valores más elevados en el tratamiento 2L pero dentro de los niveles foliares considerados como normales para el B (<100 ppm) [22]. Se apreció una clara tendencia de acumulación de B en la planta, incrementando sus valores en la última campaña más del doble en relación a los encontrados en la primera (Tabla 3). Los niveles de B en el agua de riego superaron puntualmente los niveles umbrales de 0,5 mgL⁻¹ propuestos para cítricos [18,19], sin embargo, estos autores también señalan que el limonero es uno de los cultivos más sensibles a B y puede sufrir daños con niveles inferiores a este umbral. En este caso los niveles foliares obtenidos en 2018 y 2019 se pueden considerar altos al estar comprendidos en el intervalo entre 100-260 ppm [22] y podrían provocar daños en el cultivo entre ligeros a moderados [19].

Aunque no se dispusieron de medidas del contenido de B en el suelo, el B aplicado con el agua de riego, en lugar de permanecer en la solución, puede acumularse en el suelo de forma no disuelta, pero potencialmente disponible para el cultivo [23]. Además, las campañas de 2018 y 2019 se caracterizaron por unas elevadas precipitaciones que probablemente hayan favorecido la reintroducción del B dentro del bulbo húmedo, siendo estas campañas donde mayores niveles de B foliar presentaron los árboles de limonero (Tabla 3)

Desde el punto de vista agronómico, a medida que se produjo acumulación de B foliar desde el año 2017 hasta 2019, se produjo una reducción de la producción total obtenida, debida principalmente a una reducción de la carga productiva (Tabla 3, Figura 2). Dicha reducción de la producción en 2019 fue de un 44% y 41%, debido a una disminución del número de frutos cosechados del 50% y 47% en el tratamiento 2L y 3L respectivamente, respecto a la primera campaña. Esto indicaría una reducción de los frutos cuajados o una mayor caída fisiológica de los mismos durante la fase I de crecimiento del fruto debido principalmente a la acumulación de B en la planta, en ambos tratamientos. Se obtuvieron correlaciones significativas muy similares entre ambos tratamientos, donde se pone de manifiesto dicha reducción de la respuesta productiva en limoneros adultos como consecuencia de la acumulación de boro en la planta (Figura 2). Aunque los niveles de Na y Cl en hoja estuvieron muy por debajo de los límites establecidos, también se obtuvieron correlaciones significativas con la producción y número de frutos cosechados en ambos tratamientos, pero con unos bajos coeficientes de correlación (datos no mostrados).

Tabla 3. Concentraciones foliares de Na⁺, Cl⁻ y B y respuesta productiva (producción total, carga productiva y peso medio del fruto) de limón 'Fino 49' para cada sistema de riego [dos líneas (2L) y tres líneas (3L)] en cada campaña durante el período experimental (2017 a 2019).

| Sistema de riego | Na ⁺ (%) | Cl ⁻ (%) | B (ppm) | Producción Total (kg árbol ⁻¹) | Carga productiva (nº frutos árbol ⁻¹) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|---|--|
| 2L | 0,06 | 0,13 | 92 a | 169,3 | 1481 |
| 3L | 0,06 | 0,10 | 80 b | 177,2 | 1501 |
| (2017) ANOVA | ns | ns | ** | ns | ns |
| 2L | 0,07 | - | 141 | 131,4 | 1075 |
| 3L | 0,07 | - | 134 | 138,0 | 1062 |
| (2018) ANOVA | ns | - | ns | ns | ns |
| 2L | 0,08 | 0,18 | 197 | 94,6 | 737 |
| 3L | 0,08 | 0,18 | 179 | 104,3 | 790 |
| (2019) ANOVA | ns | ns | ns | ns | ns |

'ns' indica diferencias no significativas; ** indica diferencias significativas a P<0.01 según test de Duncan.

Los niveles foliares de B alcanzados en ambos tratamientos en la última campaña fueron ligeramente superiores a los obtenidos en un experimento para evaluar la respuesta del cultivo al riego con agua marina desalinizada, bajo condiciones de campo, en este caso, en mandarina injertado sobre *Citrus macrophylla* [16]. Se utilizaron árboles jóvenes, con 3 años de edad al inicio del experimento. Los principales resultados obtenidos indicaron que no se observaron diferencias en la acumulación foliar de iones y cationes perjudiciales, ni en la respuesta fisiológica y productiva del cultivo por los tratamientos aplicados. En nuestro caso, además de tratarse de árboles de limonero con mayor sensibilidad al B que el resto de cítricos, se han utilizado árboles adultos con 24 años de edad al inicio del experimento donde sí que se han observado efectos perjudiciales en el cultivo por la acumulación de B debido al uso de agua de riego con un contenido de B entorno a los 0,5 mg L⁻¹. Por lo que, además de la especie de cítrico, la edad del cultivo, sería un factor a tener en cuenta a la hora de utilizar aguas con elevado contenido en B. Si el árbol se encuentra en fase juvenil (1-6 años de edad, dependiendo de la variedad, portainjerto, etc) suele tener un crecimiento más activo y podría limitar los efectos

perjudiciales en el cultivo por la acumulación foliar de B, mientras que en la fase adulta (> 7 años de edad) el árbol dedica mayores recursos a la floración y fructificación, por lo que, como ha sido nuestro caso, la acumulación foliar de B afectaría a la respuesta productiva del cultivo.

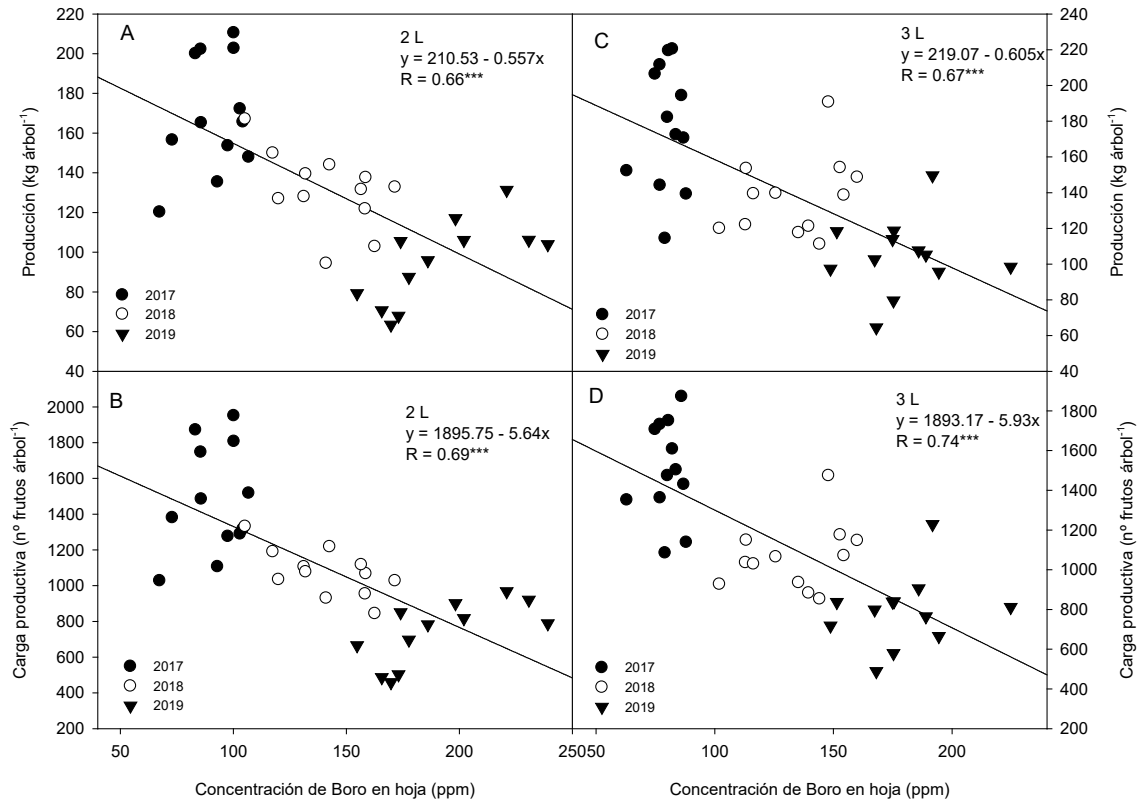


Figura 2. Correlaciones obtenidas entre la concentración de boro en hoja con la producción total y la carga productiva para cada sistema de riego [dos líneas (2L)(A y B) y tres líneas (3L) (C y D)]

4. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, los diferentes diseños agronómicos estudiados (2L y 3L) respondieron de manera similar a la acumulación de boro en hoja con similares efectos sobre la producción.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Proyecto de Investigación FEDER 14-20-24 dentro del programa operativo de la Región de Murcia 2014-2020 cofinanciado en un 80% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Referencias

- MAPA. Avance del Anuario de Estadística Agraria. 2022. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>
- CHS (2015). Hydrological Plan of the Demarcation of Segura 2015/21. Annex 6 Operating System and Balances; Hydrographic Confederation of Segura: Murcia, Spain.

3. IPCC. Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2014; p. 151.
4. CEDEX. *Evaluation of the Climate Change Impact on Water Resources and Droughts in Spain*; Technical Report 42-415-0-001; Centre for Studies and Experimentation in Public Works: Madrid, Spain, 2017; p. 320.
5. García-Tejero, I.F.; Durán-Zuazo, V.H.; Muriel-Fernández, J.L. Towards sustainable irrigated Mediterranean agriculture: Implications for water conservation in semi-arid environments. *Water Int.* **2014**, *39*, 635–648.
6. Bates, B.C.; Kundzewicz, Z.W.; Wu, S.; Palutikof, J.P. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC: Geneva, Switzerland, 2008; p. 210.
7. Memoria de Actividades Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. Año 2017-2018. 51pp <https://www.crcc.es/memorias-de-actividades/>
8. Memoria de Actividades Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. Año 2018-2019. 54pp <https://www.crcc.es/memorias-de-actividades/>
9. Memoria de Actividades Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. Año 2019-2020. 76pp <https://www.crcc.es/memorias-de-actividades/>
10. Grattan, S.; Consultant, C.-S. Evaluation of the Impact of Boron on Citrus Orchards in Riverside County; Riverside County Water Task Force: Riverside, CA, USA, 2013.
11. Aparicio-Durán, L.; Gmitter, F.G., Jr.; Arjona-López, J.M.; Grosser, J.W.; Calero-Velázquez, R.; Hervalejo, Á.; Arenas-Arenas, F.J. Evaluation of Three New Citrus Rootstocks under Boron Toxicity Conditions. *Agronomy* **2021**, *11*, 2490. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122490>
12. Vera, A., Moreno, J.L., García, C., Nicolás, E., Bastida, F. Agro-physiological and soil microbial responses to desalinated seawater irrigation in two crops. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2023**, *250*, 114507.
13. Robles, J.M.; García-García, J.; Navarro, J.M.; Botía, P.; Pérez-Pérez, J.G. Changes in Drip Irrigation Water Distribution Patterns Improve Fruit Quality and Economic Water Productivity in Early-Season Lemon Trees. *Agronomy* **2023**, *13*, 1519. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061519>
14. Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. *Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper Number 24*; FAO: Rome, Italy, 1977; p. 194.
15. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration. In *Guidelines for Computing Crop Water Requirements*; Irrigation and Drainage Paper 56; FAO: Rome, Italy, 1998.
16. Maestre-Valero, J.F.; Martínez-Alvarez, V.; Jódar-Conesa, F.J.; Acosta, J.A.; Martín-Gorrioz, B.; Robles, J.M.; Pérez-Pérez, J.G.; Navarro, J.M. Short-Term Response of Young Mandarin Trees to Desalinated Seawater Irrigation. *Water* **2020**, *12*, 159. <https://doi.org/10.3390/w12010159>
17. Agustí, M.; Mesejo, C.; Reig, C. *Citricultura*, 3ª ed.; Mundi-Prensa: Madrid, España, 2020; p. 488.
18. Grattan, S.R.; Diaz, F.J.; Pedrero, F.; Vivaldi, G.A. Assessing the suitability of saline wastewaters for irrigation of Citrus spp.: Emphasis on boron and specific-ion interactions. *Agric. Water Manag.* **2015**, *157*, 48–58.
19. Martínez-Alvarez, V.; González-Ortega, M.J.; Martín-Gorrioz, B.; Soto-García, M.; Maestre-Valero, J.F. The use of desalinated seawater for crop irrigation in the Segura River Basin (south-eastern Spain). *Desalination* **2017**, *422*, 153–164.
20. Romero-Trigueros, C.; Nortes, P.A.; Pedrero, F.; Mounzer, O.; Alarcón, J.J.; Bayona, J.M.; Nicolás, E. Assessment of the viability of using saline reclaimed water in grapefruit in medium to long term. *Span. J. Agric. Res.* **2014**, *12*, 1137–1148.
21. Syvertsen, J. P. and Garcia-Sanchez, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environ. Exp. Bot.* **2014**, *103*, 128–137.
22. Boletín Oficial de la Región de Murcia (BORM) núm 100, 2012, Orden del 24 de abril de 2022, de la Consejería de Agricultura y Agua por la Que se Regulan las Normas Técnicas de Producción Integrada en el Cultivo de Cítricos; pp. 18377–18402.
23. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico 2022-2027 - Anexo VIII del Anejo III Estudio del CEDEX sobre límite impuesto al boro en las aguas del post trasvase. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto demográfico. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Dirección general del Agua. 2021, 20pp