

Desafíos y soluciones frente a la salinidad en el cultivo del aguacate en España (I)

Análisis de la fitotoxicidad al cloruro sobre el patrón 'Nachar'

En España la expansión del cultivo del aguacate se está produciendo sin una evaluación suficiente de los riesgos asociados a su sensibilidad a la salinidad y, particularmente, a la fitotoxicidad por cloruro. En este número se exponen los resultados del ensayo realizado para analizar la necrosis foliar y la sensibilidad al cloruro sobre el patrón Nachar, dejando para el siguiente número la fitotoxicidad al sodio y boro, la estimación de la pérdida de producción y las recomendaciones de manejo.

José Miguel de Paz¹, Julio Climent², Enrique Peiró¹, Sergio Paz², Fernando Visconti¹.

¹Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CDAS), Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).

²Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca, Servicio de Transferencia de Tecnología (STT) de la Comunidad Valenciana.



Foto 1. Vista del ensayo experimental.

El cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) se está extendiendo en España como alternativa a otros frutales debido a la rentabilidad económica que ofrece. Los precios favorables de venta del aguacate en origen, que se han estabilizado entre 2 y 2,5 €/kg durante los últimos años

para la variedad Hass (figura 1), han propiciado que muchos agricultores hayan optado por este cultivo en detrimento de otros como los cítricos o el caqui. De hecho, entre el año 2018 y el 2023 la superficie de aguacate en España aumentó un 65%, alcanzando las 20.040 ha con 86.800 t de producción.

La expansión del aguacate en España se está produciendo sobre todo en Andalucía, Islas Canarias y Comunidad Valenciana (figura 2) a pesar de los requisitos de cultivo de este frutal en cuanto a clima, suelo y disponibilidad y calidad del agua de riego, los cuales suelen contrastar en buena medida con las posibilidades de

FIG. 1 Evolución en España de los precios de venta en origen del aguacate en comparación con cítricos y caqui.

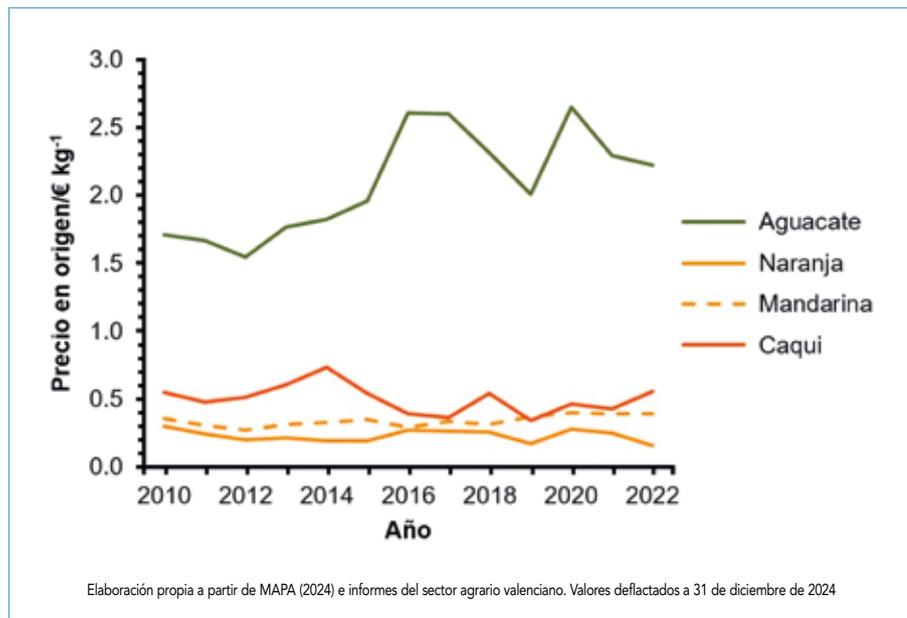
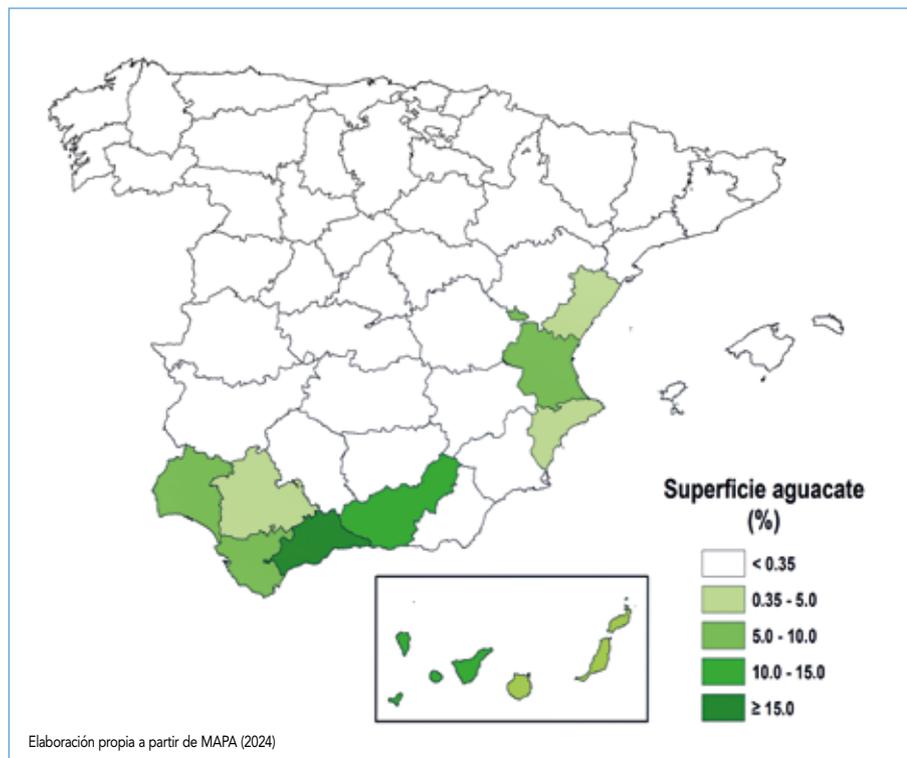


FIG. 2 Porcentaje del total nacional de superficie cultivada de aguacate en cada provincia.

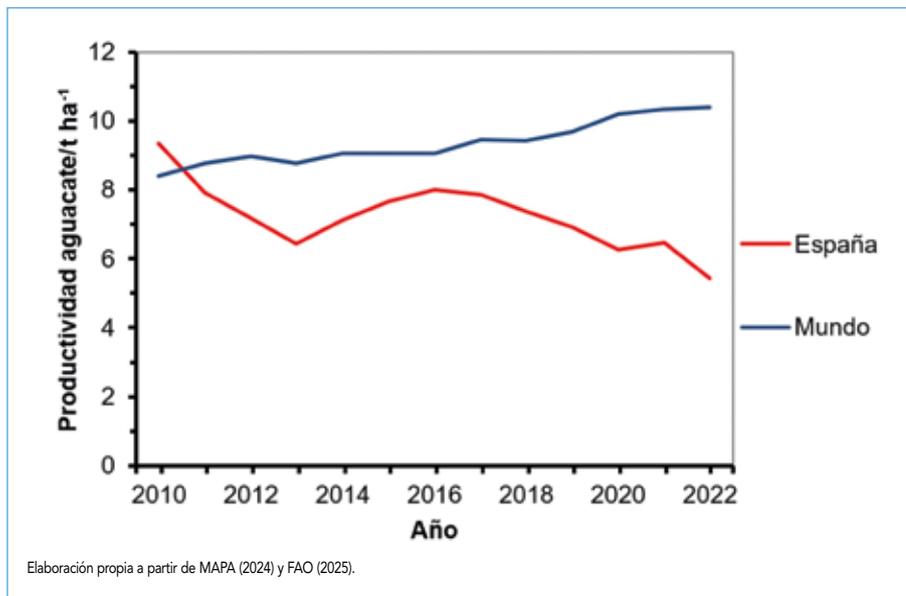


estos territorios, planteándose así un desafío para su adaptación. Las condiciones óptimas para el cultivo de aguacate incluyen: i) climas cálidos con mínima incidencia de heladas; ii) disponibilidad suficiente de agua de riego de baja salinidad; y iii) suelos con buen drenaje, así como baja compactación y pH ligeramente ácido (Climent, 2022). Sin embargo, Andalucía y la Comunidad Valenciana se caracterizan por presentar en buena parte de su extensión i) clima mediterráneo semiárido el cual, a pesar de su benignidad y el actual calentamiento global, todavía presenta un riesgo alto de heladas; ii) el agua de riego, la cual a menudo no está disponible en la cantidad y calidad adecuadas; y iii) los suelos, con frecuentes problemas de drenaje y compactación y pH moderadamente alto debido a su elevado contenido de carbonatos de calcio y magnesio.

Estas desfavorables condiciones de cultivo para el aguacate podrían contribuir a explicar por qué la productividad de este frutal en nuestro país se ha estancado sensiblemente por debajo de la productividad mundial durante los últimos años (figura 3). De hecho, la producción en 2023 disminuyó un 3% respecto a la de 2018, aunque la superficie aumentó un 65% en el mismo periodo. En consecuencia, esta baja productividad del aguacate en España se observa incluso descontando el elevado número de plantaciones jóvenes que se contabilizan como superficie de cultivo y tienen producciones aún muy bajas.

En particular, la insuficiente calidad del agua de riego es uno de los factores que, en mayor medida, podría estar limitando la productividad del aguacate en España debido a que este frutal está considerado entre los menos tolerantes a la salinidad. Concretamente, las raíces del aguacate no tienen apenas capacidad para limitar la absorción de las sales del suelo, especialmente el ion cloruro (Cl⁻), y su subsiguiente transporte a las hojas (Celis *et al.*, 2018), donde el Cl⁻ se acumula y

FIG. 3 Productividad promedio de las plantaciones de aguacate en España y a nivel mundial.



CUADRO I

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA A 25°C (CE₂₅), RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS) Y CONCENTRACIÓN DE CLORURO, SODIO, CALCIO Y BORO EN EL AGUA DE RIEGO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE SALINIDAD QUE SE APLICARON A LOS PLANTONES DE AGUACATE.

Tratamiento	*CE ₂₅ (dS/m)	RAS (mmol/l) ^{1/2}	Cloruro (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Boro (mg/l)
T1	0,6	1,6	45	39	28	< 0,05
T2	1,5	1,4	102	92	181	< 0,05
T3	2,0	1,9	279	151	258	0,09
T4	2,7	2,3	323	157	225	0,05
T5	3,0	2,4	477	194	335	0,09

manifiesta sus efectos fitotóxicos perjudicando la fotosíntesis y desencadenando necrosis (Acosta-Rangel *et al.*, 2019). El daño fotosintético se manifiesta en pérdida de producción, pero es la necrosis foliar el síntoma más temprano, así como el más aparente y distintivo de la fitotoxicidad por Cl⁻ y, en definitiva, el que hace saltar la alarma una vez se presenta.

Para hacer frente al problema de la salinidad en el cultivo del aguacate se pueden seguir las diferentes estrategias genéricas de mitigación y adaptación a la salinidad en la agricultura. Entre estas, el injerto en patrones tolerantes a la salini-

dad es una de las más populares porque, en el caso del aguacate, existen subespecies que presentan mayor capacidad para excluir el Cl⁻ cuando la planta absorbe el agua del suelo, y pueden limitar así su transporte en la savia bruta y su acumulación en las hojas. Entre estas subespecies de aguacate seleccionadas para usarse como patrones adecuados para condiciones de riesgo de afectación por salinidad está Ashdot, Nabal, Degania y Nachar.

Particularmente, Nachar ha adquirido cierta reputación en nuestro país como patrón de aguacate adecuado para condiciones de riesgo de afectación por sa-

linidad. Sin embargo, la capacidad de exclusión de sales del Nachar no se había puesto rigurosamente a prueba, ni se había comparado frente a la de otros patrones. En consecuencia, el objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de un estudio realizado para determinar la tolerancia a la salinidad del aguacate injertado en Nachar, en comparación con otros patrones, y de qué manera este conocimiento puede utilizarse para el manejo integrado del cultivo del aguacate en condiciones de riesgo de afectación por salinidad.

Materiales y métodos

Se diseñó un ensayo controlado para evaluar la respuesta fisiológica del aguacate a diferentes niveles de estrés salino en la finca experimental del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) en Moncada (Visconti *et al.*, 2025). El material vegetal consistió en plantones jóvenes de aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass) injertados sobre el patrón de subespecie antillana Nachar, seleccionado por su adaptación a condiciones de clima y suelo mediterráneos según información preliminar no publicada. El estudio se desarrolló al aire libre utilizando un sistema de cultivo en macetas de 20 l con un sustrato inerte (mezcla 3:1 de turba y perlita). Este diseño permitió simular condiciones de campo aislando el factor salinidad del agua de riego, particularmente evitando la interferencia del suelo.

Diseño experimental

El estudio se estableció con cinco tratamientos de salinidad, cada uno replicado en cinco unidades experimentales, totalizando 25 plantones de aguacate. Los tratamientos se diferenciaron por la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego, estableciendo un gradiente desde 0,6 dS/m (control) hasta 3,0 dS/m, lo que correspondió a concentraciones iónicas de 45 - 477 mg l⁻¹ de cloruro (Cl⁻) y 39 -

194 mg l⁻¹ de sodio (Na⁺), según se detalla en el **cuadro I**. Las concentraciones de boro (B) en todas las soluciones de riego fueron inferiores a 0,1 mg l⁻¹, considerándose niveles no influyentes en el estudio.

Los plántones de aguacate presentaban a su llegada al IVIA características homogéneas con 60-80 cm de altura. Fueron aclimatados en invernadero durante 3 semanas y media para posteriormente trasplantarlos a macetas más grandes y sacarlos al aire libre el 27 de junio de 2018. La aplicación diferenciada de los tratamientos de riego se inició 48 horas post-trasplante (29 de junio de 2018), manteniéndose durante 110 días consecutivos hasta el 17 de octubre de 2018 hasta totalizar 246,5 l de agua de riego por planta (**foto 1**). Este periodo experimental comprendió varios de los meses de más evapotranspiración en la región mediterránea



Concentraciones superiores a 100 mg/l de cloruro en el agua de riego siguen comprometiendo la viabilidad del cultivo, cuya afectación por necrosis foliar se pone de manifiesto a partir de 8 g/kg (0.8 %) de cloruro en hoja.

nea (julio-octubre), lo que permitió evaluar la respuesta fisiológica del cultivo bajo las condiciones típicas de estrés que se dan durante su fase de máximo desarrollo vegetativo.

Seguimiento del ensayo

Al término del periodo experimental, se realizó un muestreo foliar sistemático, recolectando hojas completamente expandidas de la tercera posición apical en cada uno de los plántones separando hojas necrosadas de no necrosadas. Las muestras fueron procesadas para la cuantificación de Cl⁻, Na⁺, B y el resto de macro y micronutrientes siguiendo protocolos de análisis de referencia. Estos análisis permitieron establecer las relaciones dosis-respuesta entre la salinidad del agua de riego y la afectación del cultivo.

**AGRI
TECHNICA**[®]
THE WORLD'S NO. 1

La feria líder mundial
en maquinaria agrícola

touch smart
efficiency

DEL 9 AL 15
DE NOVIEMBRE
HANNOVER
ALEMANIA

20
25

NOVEDAD!
Días temáticos



#agritechnica



agritechnica.com

INCLUDING
SYSTEMS[®]
COMPONENTS[®]

MADE BY



Resultados y discusión

Necrosis foliar

En este experimento se constató la aparición de necrosis foliar el día 14 de septiembre, –a los 77 días de haber empezado los tratamientos de riego–, en los niveles de salinidad más alta (T4 y T5). En los días sucesivos estos síntomas de necrosis se observaron también en los niveles T2 y T3, mientras que en el nivel T1, regado con aguas de buena calidad (CE = 0,6 dS/m, y Cl⁻ = 45 mg/l, **cuadro I**), no se observó necrosis foliar en ningún momento. Por lo tanto, fueron los aguacates regados con aguas con una concentración de cloruro superior a 100 mg/l, los que desarrollaron necrosis foliar (**foto 2**).

Fitotoxicidad al cloruro

Las determinaciones realizadas en las hojas pusieron de manifiesto el aumento proporcional del cloruro foliar, así como una cierta disminución del nitrógeno foliar, con el aumento del cloruro en el agua de riego (**cuadro II**). Esto se observó tanto en las hojas con necrosis como en aquellas sin necrosis, aunque en las hojas afectadas por necrosis el aumento del cloruro foliar con el cloruro en el agua de riego fue más acusado (**cuadro II**). Concretamente, la tasa promedio de incremento de la concentración de cloruro en las hojas en respuesta al incremento de la concentración de cloruro en el agua de riego se cifró en 1,8 g/kg por cada 100 mg/l (**figura 4**). La disminución del nitrógeno foliar con el cloruro del agua de riego sugiere un efecto antagónico del cloruro sobre la absorción del nitrato.

Además, el umbral de fitotoxicidad por cloruro foliar se estableció en 8 g/kg (0,8%), valor que concuerda con estudios previos con aguacate cv. Hass injertado sobre diversos patrones clonales y de semilla. Por ejemplo, Mickelbart y Arpaia (2002) observaron el desarrollo de síntomas de necrosis foliar a partir de 6,4 g/kg.



Foto 2. Necrosis foliar por fitotoxicidad por cloruro en aguacate tal y como se observó en este ensayo.

CUADRO II

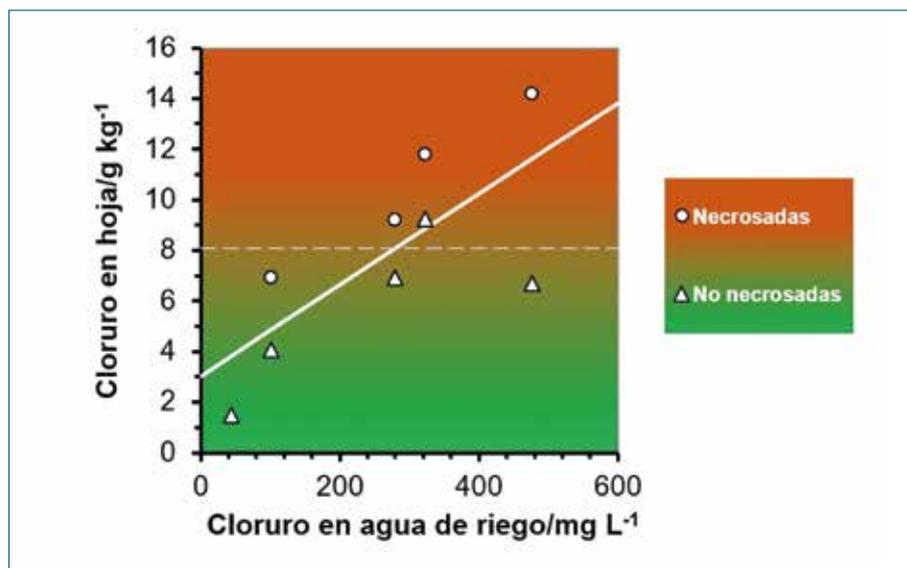
CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE CLORURO Y NITRÓGENO EN HOJAS AFECTADAS Y NO AFECTADAS POR NECROSIS DESPUÉS DE 110 DÍAS DE RIEGO CON EL AGUA DE CADA TRATAMIENTO.

Tratamiento	Necrosis	Cloruro (g/kg)	Sodio (mg/kg)	Boro (mg/kg)	Nitrógeno (g/kg)	Calcio (g/kg)
T1	No	1,5	27	23	22,6	20,7
T2	No	4,1	19	18	21,9	15,9
T3	No	6,9	29	16	19,5	16,4
T4	No	9,2	52	23	20,2	17,2
T5	No	6,7	43	21	20,0	11,8
T1	Sí	-	-	-	-	-
T2	Sí	6,9	26	16	18,4	25,4
T3	Sí	9,2	51	18	10,7	20,6
T4	Sí	11,8	91	23	17,8	24,1
T5	Sí	14,2	93	20	19,5	20,7

En comparación con otros patrones de aguacate, Nachar induce una tasa de incremento de cloruro en hoja de las más bajas que se han podido estimar mediante la reelaboración de los resultados de varios trabajos encontrados en la bibliografía (**cuadro III**). En efecto, las tasas de incremento de cloruro en hoja más bajas inducidas por los patrones de aguacate son de 1,6 g/kg por cada 100 mg/l de cloruro en agua de riego y las más altas se hallan por encima de 5,6 g/kg por cada

100 mg/l de cloruro en agua de riego, representando este último valor el límite de *letalidad* para el aguacate (**cuadro III**). Por lo tanto, si se separan los patrones de aguacate en tres grupos de tolerancia al cloruro: i) uno de alta tolerancia para los que presentan una tasa menor o igual a 2,5 g/kg por cada 100 mg/l, ii) otro de tolerancia media para los que presentan una tasa entre 2,5 y 4,0 g/kg por cada 100 mg/l y iii) otro de baja tolerancia para los que presentan una tasa mayor de 4,0 g/

FIG. 4 Concentración de cloruro en hojas de aguacate necrosadas y no necrosadas y evolución en función de la concentración de cloruro en el agua después de 110 días de riego.



al cloruro que el Citrange Carrizo induce a los cítricos, con 0,8 g/kg por cada 100 mg/l en agua de riego (Arbona *et al.*, 2005).

No obstante, si estos datos de tasa de incremento de cloruro en hoja se combinan con los de umbral de fitotoxicidad por cloruro foliar, el aguacate resulta ser, incluso injertado sobre Nachar, Nabal o Degania 117, tan poco tolerante a la salinidad como el caqui Rojo Brillante sobre *D. lotus*. De hecho, el umbral de cloruro foliar para los cítricos es 7 g/kg (Ferguson y Grattan, 2005), es decir, muy parecido al del aguacate, pero con una tasa de incremento para C. Carrizo de sólo 0,8 g/kg por cada 100 mg/l, esto es, la mitad que el patrón más tolerante de aguacate, el aguacate desarrollará fitotoxicidad al cloruro a concentraciones más bajas de cloruro en el agua de riego. Respecto al caqui, el umbral para *Diospyros kaki* L. cv. Rojo Brillante es 13 g/kg (de Paz *et al.*, 2016a), este es bastante más alto que el del aguacate. Sin embargo, con una tasa de incremento superior para *D. lotus*, tanto el caqui como el aguacate presentarán una tolerancia al cloruro parecida y más baja que los cítricos.

Conclusiones

Mediante un ensayo con plántones de aguacate ‘Hass’ injertados en ‘Nachar’ se ha revelado que este patrón destaca frente a otros por su capacidad para excluir el cloruro del agua de riego. No obstante, aún sobre este patrón, el cultivo del aguacate sigue siendo sensible al cloruro. En el siguiente número se presentarán los resultados de la fitotoxicidad por sodio y boro, la estimación de la pérdida de producción y algunas recomendaciones de manejo más allá del uso de patrones tolerantes. ■

CUADRO III

CLASIFICACIÓN DE PATRONES DE AGUACATE EN FUNCIÓN DE SU TOLERANCIA AL CLORURO

Tolerancia al cloruro	Tasa de acumulación de cloruro (g/kg por cada 100 mg/L en agua de riego)	Patrones
Alta	≤ 2.5	Nabal; Degania 117; UCV 7; Nachar; Mexícola; Zutano; Smith; Topa-Topa
Media]2.5, 4.0]	Duke 7; Julián; Gallo 3; 225.00; Westfalia R0.18; Steddom; Thomas
Baja	> 4.0	UCR PP40; Dusa; Zentmyer; Gallo 2; Westfalia R0.05, 06, 07, 16, 17; Uzi; UCR PP45

kg por cada 100 mg/l, Nachar entra en el grupo de alta tolerancia junto con Nabal, Degania 117, UCV 7, Mexícola, Smith y Topa-Topa (cuadro III). Se trata, pues, de un resultado sorprendente por cuanto Mexícola y Topa-Topa son portainjertos de aguacate de subespecie mexicana considerados sensibles a la salinidad.

En comparación con los patrones característicos de otros cultivos leñosos como los cítricos y el caqui, a los cuales el aguacate está desplazando en la Comunidad Valenciana, por ejemplo, Nachar induce una tolerancia al cloruro intermedia entre ellos. Específicamente, Nachar, con 1,8 g/kg por cada 100 mg/l en agua de riego, induce al aguacate cv. Hass mayor tolerancia al cloruro que el *Diospyros lotus*



Si los datos de cloruro se combinan con los de umbral de fitotoxicidad por cloruro foliar, el aguacate resulta ser tan poco tolerante a la salinidad como el caqui Rojo Brillante

L. induce al caqui cv. Rojo Brillante, con 3,3 g/kg por cada 100 mg/l en agua de riego (Visconti *et al.*, 2017). Sin embargo, Nachar induce al aguacate menor tolerancia

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto SostEC-Sabio con referencia 52203 financiado por la Generalitat Valenciana-Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).