

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LIMONERO VERNA CON LOS CUATRO PORTAINJERTOS MÁS COMUNES

# Influencia del portainjerto sobre la **tolerancia al exceso de boro** en el agua de riego

La toxicidad por boro también se ha convertido en un problema importante en agricultura. En el levante español, sobre todo en la Región de Murcia y en la provincia de Alicante, este problema se está agravando considerablemente por la falta de agua de buena calidad. El objetivo de este traba-

jo fue evaluar los efectos del exceso de B en el crecimiento vegetativo, la concentración de B en los diferentes tejidos de las plantas y la nutrición mineral en hojas y raíces en árboles de limón Verna injertados sobre los cuatro portainjertos más utilizados en España.

I. Simón<sup>1</sup>, A.L. García<sup>2</sup>, V. Gimeno<sup>3</sup>, M. Nieves<sup>2</sup>, D.S. Carmenates<sup>4</sup>, V. Martínez<sup>3</sup>, F. García-Sánchez<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> EPSO. Univ. Miguel Hernández. Orihuela (Alicante).

<sup>2</sup> Facultad de Química. Universidad de Murcia. Campus Universitario de Espinardo, (Murcia).

<sup>3</sup> CEBAS. CSIC. Campus Universitario de Espinardo (Murcia).

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad "Máximo Gómez Báez" de Ciego de Ávila.

**E**l boro (B) es uno de los ocho micronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo normal de todas las plantas superiores (Brown y col., 2002; O'Neill y col., 2004). Sin embargo, su función permanece todavía desconocida hasta la fecha en algunos aspectos fisiológicos y metabólicos de las plantas (Bolaños y col.,

2004). Actualmente se sabe que el B está implicado en la formación de la pared celular (Marschner, 1995; O'Neill y col., 2001; Goldbach y Wimmer, 2007), y que participa en el metabolismo de los carbohidratos y en otros procesos metabólicos como la síntesis y movilización de polifenoles dentro de las plantas (Par y Loughman 1983; Brown y col., 2002). Su deficiencia es un problema generalizado sobre todo en las zonas del mundo con climas húmedos. Los estudios fisiológicos han sugerido que la deficiencia de B en las plantas causa una proliferación de células deformadas, degeneración de tejidos meristemáticos y de membranas celulares, descenso de actividad de enzimas anti-oxidantes, acumulación de nitratos y menor contenido de proteínas en el citoplasma, aparición de zonas fibrosas, desarrollo anómalo de vasos conductores, y disminución del contenido en azúcares en frutos y tubérculos (Marschner, 1995; Dell y Huang, 1997).

En la última década, la toxicidad por B también se ha convertido en un problema importante en agricultura debido a que los suelos alcanzan concentraciones elevadas por el empleo indiscriminado de fertilizantes minerales, o por el uso de aguas con alta concentración de este elemento. En el levante español, sobre todo en la Región de Murcia y en la provincia



de Alicante, este problema se está agravando considerablemente por la falta de agua de buena calidad que sufren estas regiones, lo que obliga a los agricultores a emplear aguas procedentes de zonas urbanas e industriales con concentraciones elevadas de boro. Se estima que el nivel de boro en el agua de riego superior a 1 mg/l puede afectar al rendimiento de la mayoría de los cultivos mediterráneos tradicionales como los cítricos (*Citrus sinensis*), o el aguacate (*Persea americana*), etc. Estas especies muestran síntomas de toxicidad cuando la concentración de B en la hoja es superior a 50 mg/kg ps (Hakki y col., 2007).

Altas concentraciones de B en el suelo normalmente se traducen en altas concentraciones de B en las hojas, ya que el B se mueve desde las raíces a las hojas sin ningún impedimento a través de la corriente de transpiración, acumulándose primordialmente en hojas maduras donde queda limitada su reconversión (Takano y col., 2008). Sólo en aquellas especies de plantas que producen cantidades significativas de azúcares del tipo manitol o sorbitol polifenoles, el B se retransloca en la planta vía floema, pero éste no es el caso de los cítricos (Brown y Hu, 1996).

En el ranking mundial de cítricos, España es el segundo país productor y el primer exportador de limón. Alrededor del 80% de la producción española se encuentra en el sureste principalmente en la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana. En estas zonas los principales factores que limitan su cultivo han sido tradicionalmente la salinidad y la sequía (García-Sánchez y col., 2000). Ahora se añade un nuevo problema como es la toxicidad por boro, ya que los cítricos son muy sensibles al exceso de B en el agua de riego, aunque su tolerancia podría depender del portainjerto en el cual está injertada la variedad.

Se sabe que los portainjertos de cítricos pueden afectar a más de veinte características hortícolas incluyendo la tolerancia al estrés por salinidad o sequía (Fernández-Ballester y col., 2003; Romero y col., 2006). Sin embargo, se conoce muy poco sobre cómo influye el portainjerto sobre la adaptabilidad de estos árboles a las concentraciones altas de B en el agua de riego. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos del exceso de B en el crecimiento vegetativo, la concentración de B en los diferentes tejidos de las plantas, y la nu-



Vista parcial de los árboles de limonero Verna en los que se realizó el experimento.

trición mineral en hojas y raíces en árboles de limón Verna injertados sobre los cuatro portainjertos más utilizados en España con características hortícolas muy diferentes entre ellos como son citrange Carrizo (CC), mandarina Cleopatra (CL), *Citrus macrophylla* (CM) y naranjo amargo (SO).

## Materiales y métodos

### Material vegetal y condiciones experimentales

En este experimento se utilizaron árboles de dos años de edad de limón Verna (*Citrus li-*

*mon* Burm f. cv Verna) injertados sobre cuatro portainjertos citrange Carrizo (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*; CC), mandarina Cleopatra (*Citrus reticulata*; CL), *Citrus macrophylla* (*C. macrophylla* wester, CM) y naranjo amargo (*Citrus aurantium* L.; SO).

Los árboles se cultivaron en macetas de 12 l rellenas con sustrato universal que contiene una mezcla de turba, fibra de coco y perlita. Los árboles crecieron en un invernadero cuyas condiciones climáticas fueron mantenidas en los siguientes términos: radiación fotosintéticamente activa  $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (PAR), temperatura día/noche  $35/18 \pm 3^\circ\text{C}$ , humedad relativa día/noche de  $55/75 \pm 5\%$  y un fotoperíodo de 16 h. Para mantener estas condiciones climáticas se utilizaron mallas de sombreo, y un sistema de *cooling* y humidificación.

El riego se llevó a cabo mediante un sistema de goteo con goteros autocompensantes y antidrenantes de 4 l h<sup>-1</sup> por árbol. Los árboles fueron regados con una solución nutritiva de la siguiente composición: 409 mg l<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 67 mg l<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 160 mg l<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>, 90 mg l<sup>-1</sup> Ca<sup>2+</sup>, 12 mg l<sup>-1</sup> Mg<sup>2+</sup>, 48 mg l<sup>-1</sup> SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y 30 mg l<sup>-1</sup> Fe. Los tratamientos de boro consistieron en añadir H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> a la solución nutritiva hasta alcanzar las siguientes concentraciones 0,25 mg l<sup>-1</sup> (B0), 2 mg l<sup>-1</sup> (B1), 4,5 mg l<sup>-1</sup> (B2) y 7 mg l<sup>-1</sup> (B3). Los árboles fueron regados todos los

**La reducción del crecimiento fue menor para los árboles en CM y CL que para aquéllos en CC y SO. Por ejemplo, en el tratamiento B3, CM y CL mostraron una reducción del 25% con respecto a tratamiento B0, mientras que en CC y SO esta reducción fue del 54%**



FIGURA 1.

Efectos de la concentración de boro (B0 0,25 mg l<sup>-1</sup>, B1 2 mg l<sup>-1</sup>, B2 4,5 mg l<sup>-1</sup> y B3 7 mg l<sup>-1</sup>), sobre los parámetros de crecimiento vegetativo de árboles de limonero Verna injertados sobre citrange Carrizo (CC), mandarina Cleopatra (CL), *Citrus macrophylla* (CM) y naranjo amargo (SO).

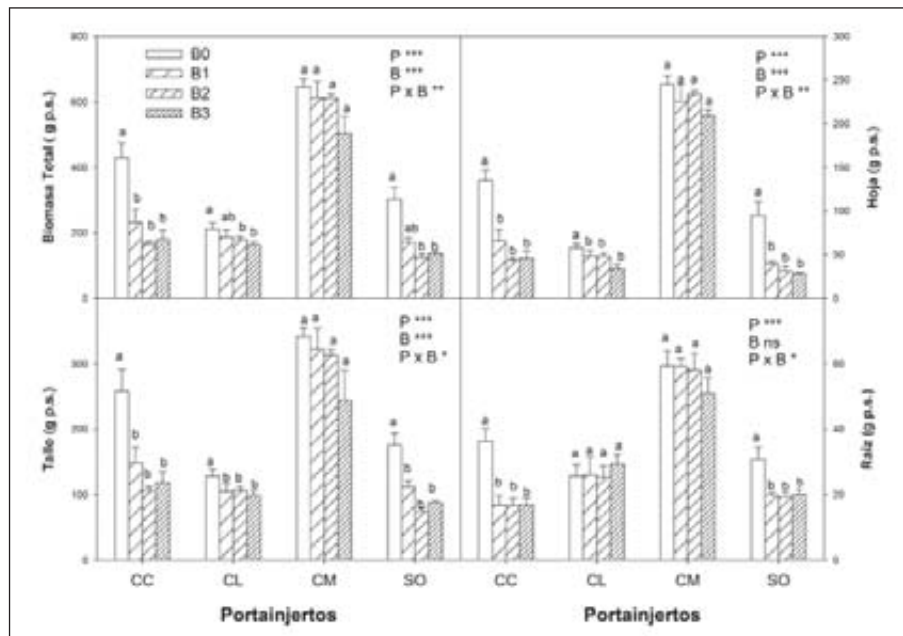
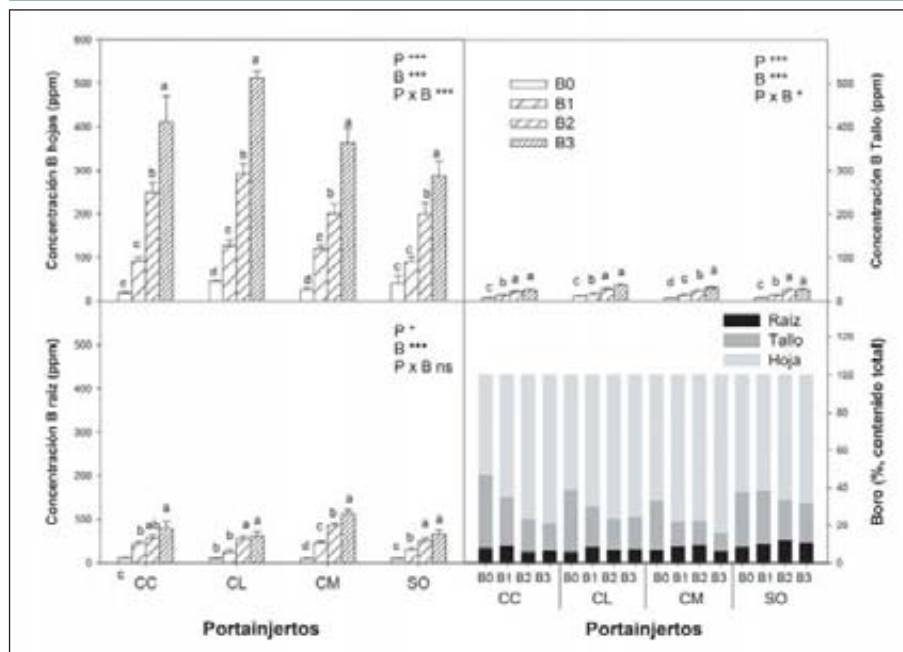


FIGURA 2.

Efectos de la concentración de boro (B0 0,25 mg l<sup>-1</sup>, B1 2 mg l<sup>-1</sup>, B2 4,5 mg l<sup>-1</sup> y B3 7 mg l<sup>-1</sup>), sobre la concentración de B en los diferentes tejidos de árboles de limonero Verna injertados sobre citrange Carrizo (CC), mandarina Cleopatra (CL), *Citrus macrophylla* (CM) y naranjo amargo (SO).



días con un volumen de solución nutritiva necesario para que drenara el 15% del volumen aplicado con el fin de impedir cualquier deposición de sales en el fondo de las macetas. Los tratamientos de boro se aplicaron durante 90 días, y al final de este periodo las plantas fueron cosechadas para determinar el crecimiento vegetativo y el estado nutricional.

### Crecimiento y concentración de nutrientes

Al final del experimento las plantas fueron cosechadas separando hojas, tallos y raíces. Las diferentes partes de los árboles se pesaron en fresco, se lavaron con agua desionizada, y se secaron en estufa a 60°C durante al menos 48 h. Este tejido ya seco se volvió a pesar y se molió. El peso seco de hojas, tallos y raíces se utilizaron para calcular el peso seco total de la planta (TPDW). La concentración de elementos minerales en los diferentes tejidos (B, Ca, K, Mg y P) se determinó por espectrometría de plasma de emisión óptica acoplado inductivamente (Iris Intrepid II, Thermo Electron Corporation, Franklin, EE.UU.), después de una digestión ácida con una mezcla HNO<sub>3</sub>: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (05:03 en volumen) en un horno de microondas siguiendo una rampa de temperatura que consistió en incrementar la temperatura hasta 190°C en 20 minutos, y mantener esta temperatura durante 2 horas (CEM Marte Xpress, Carolina del Norte, EE.UU.). La concentración de nitrógeno se determinó usando un analizador elemental Thermo Finnigan-1112 EA (Milán, Italia).

### Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos incluyó análisis de la varianza utilizando un ANOVA bifactorial (paquete estadístico SPSS v19, Chicago, IL), con cuatro portainjertos x cuatro tratamientos boro, y seis plantas por tratamiento; test de Duncan para la separación de medias para cada portainjerto, y análisis de regresión.

## Resultados

### Crecimiento vegetativo de las plantas

En el tratamiento control B0 los árboles injertados sobre CM mostraron el mayor desarrollo vegetativo en cuanto al peso de la biomasa seca total, mientras que los árboles sobre CL mostraban el menor crecimiento. Después de 90 días en los diferentes tratamientos de B, el

crecimiento vegetativo tendió a disminuir con el aumento de la concentración de B en la solución nutritiva en todos los portainjertos, aunque el efecto de los tratamientos de boro dependió del patrón como muestra el análisis de la varianza (**figura 1**). Los árboles en CM no mostraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de B; aquéllos en CL disminuyeron significativamente su crecimiento pero a partir del tratamiento B2, mientras que los CC y SO redujeron su crecimiento a partir del tratamiento B1. Por otra parte, la reducción del crecimiento fue menor para los árboles en CM y CL que para aquéllos en CC y SO. Por ejemplo, en el tratamiento B3, CM y CL mostraron una reducción del 25% con respecto a tratamiento B0, mientras que en CC y SO esta reducción fue del 54%. La reducción de la biomasa total se debió a una disminución tanto en las hojas y el tallo como en la raíz, pero las dos primeras se vieron más afectadas por lo que la relación hojas-tallo/raíz tendió a disminuir en condiciones de exceso de B (datos no mostrados).

### Concentración de boro y distribución en los diferentes tejidos

Las concentraciones de boro en las hojas, el tallo y la raíz aumentaron al incrementar progresivamente la concentración de B en la solución nutritiva. Entre los diferentes tejidos analizados la mayor concentración se dio en las hojas seguidas por la raíz y el tallo (**figura 2**). El portainjerto que acumuló la concentración de B más alta en las hojas fue el CL, alcanzando la mayor concentración en el tratamiento B3, mientras que SO acumula la menor concentración. En resumen, los datos mostraron que la concentración de B en las hojas se incrementó en el orden  $SO < CM = CC < CL$ . En las raíces, el portainjerto CM tuvo la mayor concentración de B, pero no hubo diferencias entre el resto de portainjertos. En el tallo con el tratamiento B3, los portainjertos CL y CM alcanzaron una mayor concentración de B que con CC y SO.

En cuanto a la distribución del boro en los árboles se observa que las hojas representan el tejido que más B acumula en todos los portainjertos y para todas las concentraciones de

boro estudiadas. También se observa que al incrementar la concentración de boro en la solución nutritiva aumenta el porcentaje de boro acumulado en las hojas a expensas de una pérdida en la acumulación en el tallo. En la raíz se observó en los árboles injertados sobre SO un ligero aumento en el porcentaje de boro acumulado en la raíz.

La relación entre la biomasa total, expresada como porcentaje en relación al tratamiento control B0, frente a la concentración foliar de boro dieron diferentes modelos dependiendo del portainjerto estudiado (**figura 3**). Los árboles injertados en CM y CL mostraron una respuesta lineal de disminución de la biomasa total a medida que aumenta la concentración de B en la hoja. Mientras tanto árboles injertados en CC y SO mostraron una respuesta de tipo polinómico (inversa de primer orden), caracterizada porque con concentraciones de B iguales o superiores a 100 ppm producen una reducción del crecimiento del 50% poniendo de manifiesto la enorme sensibilidad al boro de los árboles injertados sobre estos portainjertos.



La independencia  
da sus frutos

 **SAPEC**  
AGRO

[www.sapecagro.es](http://www.sapecagro.es)

## CUADRO I.

Efectos de la concentración de boro (B0 0,25 mg l<sup>-1</sup>, B1 2 mg l<sup>-1</sup>, B2 4,5 mg l<sup>-1</sup> y B3 7 mg l<sup>-1</sup>), sobre la concentración de nutrientes en árboles de limonero Verna injertados sobre citrange Carrizo (CC), mandarina Cleopatra (CL), *Citrus macrophylla* (CM) y naranjo amargo (SO).

Portainjerto	Tratamiento	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	P(%)	N (%)
<b>Hojas</b>						
<b>CC</b>	B0	1,76	2,52 A ab	0,21 B	0,34	2,33 B
	B1	1,40	1,77 b	0,17	0,29	2,51
	B2	1,68	2,66 a	0,20	0,35	2,57
	B3	1,55	2,52 a	0,20	0,33	2,32
<b>CL</b>	B0	2,11	1,92 B ab	0,25 A	0,36	2,56 B
	B1	1,80	1,79 b	0,25	0,36	2,38
	B2	1,51	2,18 a	0,22	0,36	2,65
	B3	1,95	2,22 a	0,22	0,34	2,66
<b>CM</b>	B0	1,90	2,36 A ab	0,16 C	0,35	2,87 A
	B1	2,05	2,40 b	0,17	0,35	3,03
	B2	2,09	2,50 a	0,17	0,33	3,20
	B3	1,60	2,44 a	0,18	0,37	2,88
<b>SO</b>	B0	2,00	2,20 A ab	0,22 A	0,33	2,46 B
	B1	1,35	2,18 b	0,20	0,35	2,43
	B2	1,73	2,35 a	0,28	0,34	2,22
	B3	1,68	2,52 a	0,25	0,31	2,32
<b>P</b>		ns	***	***	ns	***
<b>B</b>		ns	***	ns	ns	ns
<b>P x B</b>		ns	ns	ns	ns	ns
<b>Raíces</b>						
<b>CC</b>	B0	1,56 a C	1,36 B	0,25 B	0,35 B	3,07 a B
	B1	1,64 a	2,00	0,27	0,41	3,19 ab
	B2	1,56 a	1,20	0,21	0,41	2,96 b
	B3	1,57 a	1,42	0,24	0,39	2,93 b
<b>CL</b>	B0	1,56 a C	1,26 AB	0,34 A	0,34 A	2,96 a C
	B1	1,12 a	0,88	0,27	0,26	2,32 ab
	B2	1,63 a	1,17	0,34	0,35	2,79 b
	B3	1,22 a	1,31	0,30	0,25	2,60 b
<b>CM</b>	B0	2,04 a B	1,95 A	0,31 A	0,48 A	4,42 a A
	B1	1,96 a	1,74	0,33	0,48	4,54 ab
	B2	2,05 a	1,75	0,31	0,35	3,86 b
	B3	1,83 a	2,12	0,26	0,33	3,85 b
<b>SO</b>	B0	3,82 a A	1,55 B	0,25 B	0,30 B	3,10 a C
	B1	2,16 b	0,91	0,25	0,33	2,58 ab
	B2	2,39 b	0,82	0,22	0,29	2,56 b
	B3	1,35 b	0,82	0,25	0,23	2,41 b
<b>P</b>		***	***	***	***	***
<b>B</b>		***	ns	ns	ns	***
<b>P x B</b>		***	ns	ns	ns	ns

\*\*\* y ns indican diferencias significativas a p<0,001 y no significativas, respectivamente. Dentro de cada portainjerto, las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente al 5% (Test de Duncan). Los valores son promedio de 6 plantas.

### Nutrición mineral en hojas y raíces

Independientemente de los tratamientos de B, las hojas de los árboles injertados en CC, CM y SO presentaron una concentración de K más alta que aquéllos injertados en CL. Los árboles sobre CL y SO tuvieron la mayor concentración de Mg. Los árboles sobre CM mostraron la mayor concentración de N. En la raíz, la ma-

yor concentración de Ca se observó en los árboles SO, de K en árboles injertados sobre CM, de Mg y P en CL y CM, y de N en árboles injertados sobre CM (**cuadro I**). Los tratamientos de boro sólo afectaron a la concentración de K en hojas, así los tratamientos B2 y B3 aumentaron significativamente la concentración en relación a los árboles del tratamiento B1. En

las raíces, se observó una interacción significativa entre los tratamientos y el portainjerto en la concentración de Ca. Esto fue debido a que los tratamientos de alta concentración de boro (B1, B2 y B3) no afectaron la concentración de Ca en los árboles sobre CC, CL y CM, pero fue reducida en árboles sobre SO.

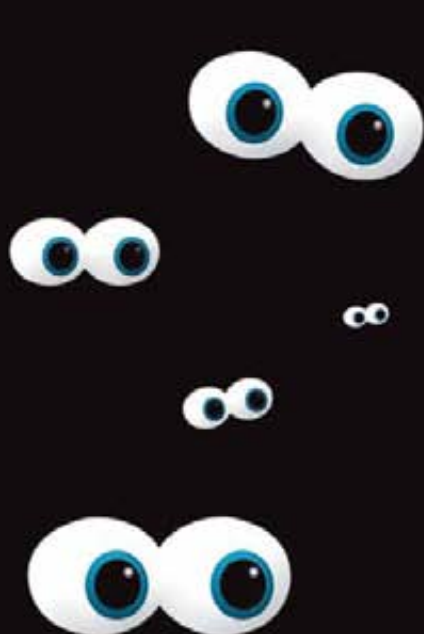
## Discusión

### Influencia de los portainjertos injertados

Basándonos en los datos de crecimiento vegetativo podemos afirmar en este experimento que CM y CL fueron los portainjertos más tolerantes respecto a la toxicidad por B entre los cuatro portainjertos estudiados injertados sobre limoneros Verna. Eso es corroborado porque la biomasa total de la planta fue reducida en CM y CL en un 25% pero sólo en el tratamiento de B más alto (7 mg l<sup>-1</sup>), mientras que en CC y SO se redujo un 55% en el tratamiento de B de 2 mg l<sup>-1</sup>. Por otra parte, los datos de crecimiento muestran que los árboles injertados sobre CM fueron más vigorosos (tuvieron un mayor biomasa seca total) que los injertados sobre CL tanto en condiciones control como en los tratamientos de exceso de boro, por lo que desde el punto de vista agronómico CM podría ser mejor portainjerto que CL en ambas condiciones de cultivo.

El exceso de B en la solución nutritiva redujo el peso seco total de los árboles, debido principalmente a una reducción en el peso seco de las hojas, mientras que el crecimiento de la raíz fue menos afectado. Esto es un efecto poco común de la toxicidad por B en plantas ya que en la mayoría de los experimentos realizados sobre toxicidad de este nutriente se muestra que las raíces son más sensibles que las hojas (Lovatt y Bates, 1984; Reid y col., 2004, Choi y col., 2006). Por ejemplo, Sheng y col., (2008) observaron en árboles de naranjo Navel que la toxicidad del B redujo principalmente el crecimiento de las raíces sin afectar demasiado a las hojas. Papadakis y col., (2004 a,b), sin embargo, no observaron ningún efecto en los parámetros de crecimiento en árboles de naranja Navelina y mandarina Clementina cuando fueron regados durante 204 días con 2,5 mg l<sup>-1</sup> de B. Estos resultados aparentemente contradictorios pueden deberse a las diferentes variedades, la duración o condiciones del experimento. De hecho Papa-





Cuando compres fitosanitarios  
**Abre bien los ojos**

Utilizar fitosanitarios **ILEGALES** daña...

TU SALUD



TU DINERO



EL MEDIO AMBIENTE



**AYÚDANOS A ACABAR CON EL TRÁFICO DE FITOSANITARIOS ILEGALES**

Avisanos si detectas redes comerciales o personas que todavía los venden o utilizan. Puedes llamarnos de forma totalmente anónima. El futuro de nuestra agricultura está en tus manos.



LLAMADA ANÓNIMA

**902 882 081**

[www.aepla.es](http://www.aepla.es)



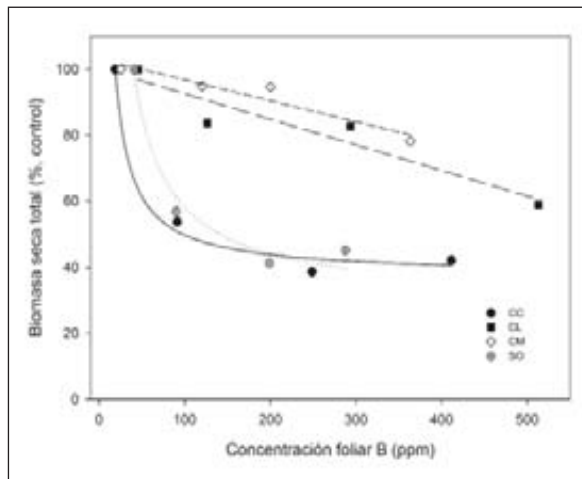
dakis y col., (2004 a,b) y Sheng y col.,(2008) cultivaron los árboles en un sustrato inerte mezcla de arena: perlita (1:1 v/v), mientras que nuestras plantas fueron cultivadas en un sustrato orgánico. Los sustratos orgánicos pueden influir sobre el pH de la zona radicular, donde una disminución del pH facilitaría la entrada del B en la planta.

### Relación entre la tolerancia al B y la concentración en las diferentes partes

La concentración de boro y su distribución en las plantas dependen fundamentalmente de los factores que determinan la mayor o menor movilidad del boro dentro de la planta. En las plantas que transportan azúcares tipo manitol y sorbitol se produce una rápida y significativa retranslocación del B vía floema. Esto significa que el B se puede distribuir por toda la planta desplazándose a los tejidos que requieran su concentración. En las plantas que no producen cantidades significativas de estos compuestos se ha comprobado que el B es inmóvil en el floema y, por tanto, su distribución depende de la corriente de transpiración (Takano y col., 2008), acumulándose principalmente en hojas adultas. Los datos de nuestro experimento muestran que los árboles de limonero Verna pertenecen al grupo de plantas en las que el boro tiene una movilidad restringida y es el flujo de transpiración el que determina tanto la concentración de B como su distribución dentro de la planta. Esto queda de manifiesto porque al incrementar progresivamente la concentración de B en la solución nutritiva aumenta la concentración de B en la planta y esta concentración es mayor en las hojas que en los tallos o raíces. Estos datos coinciden con estudios previos realizados en otros cultivos de cítricos (Papadakis y col., 2004 a,b; Sheng y col., 2008; 2010).

En nuestro experimento también se observó que la concentración foliar de B dependió del portainjerto, aumentando la concentración en el orden de SO<CM=CC<CL. En las raíces, sin embargo, el orden fue SO=CL<CC<CM, aunque en este caso las diferencias entre los portainjertos fueron menos evidentes. La relación entre la biomasa seca total (expresada

**FIGURA 3.** Relación entre la biomasa total (expresada como porcentaje en relación a la biomasa total de los árboles del tratamiento control B0 0,25 mg l<sup>-1</sup>) y la concentración de boro en las hojas de árboles de limonero Verna injertados sobre citrange Carrizo (CC), mandarina Cleopatra (CL), *Citrus macrophylla* (CM) y naranjo amargo (SO).



en porcentaje con respecto al tratamiento control) y la concentración de B en las hojas indicaron que en árboles de limonero Verna la tolerancia al exceso de boro no está relacionada directamente con la concentración de B alcanzada en las hojas. Por ejemplo, mientras que una concentración foliar de B de 100 ppm redujo la biomasa seca total un 51% en CC y un 43% en SO, en árboles injertados en CL y CM esta misma concentración redujo el crecimiento en solo un 8% y 3%, respectivamente (figura 3). En la bibliografía científica también se puede encontrar que las variaciones genotípicas en la diferente tolerancia a la toxicidad de B no están relacionadas con la concentración foliar de B. Ejemplos típicos pueden ser las plantas de trigo (Torun y col., 2003, 2006) y cebada (Mahalakshmi y col., 1995; Torun y col., 2003).

Nuestros datos de la distribución de boro en los árboles hacen que se descarte la idea de que las raíces de los árboles de cítricos puedan ser capaces de retener altas concentraciones de boro para evitar su transporte a la variedad. Estos datos junto con lo comentado anteriormente sugieren que la tolerancia de boro en cítricos puede depender de mecanismos bioquímicos capaces de mitigar el

efecto negativo de la alta concentración de boro en las hojas, y estos mecanismos podrían depender del portainjerto. En la bibliografía ya se han descrito varios mecanismos de este tipo incluyendo la compartimentación interna de B en las vacuolas (Torun y col., 2003), la respuesta de defensa antioxidante contra el estrés oxidativo (Aftab y col., 2010), y la síntesis de proteínas asociadas a la PME y expansinas para contrarrestar los efectos negativos del B sobre las paredes celulares (Wang y col., 2010).

### Respuesta nutricional de boro

En las plantas puede ocurrir un antagonismo entre el B y ciertos elementos como P, K y Ca cuando en la solución nutritiva contiene una alta concentración de B. El antagonismo entre B y P ha sido ya puesto de manifiesto en plantas de kiwi (Sotiropoulos y col., 1999) y de maíz (Gunes y Alpaslan 2000), y en K y Ca en plantas de tomate (Kaya y col., 2009). En nuestro

experimento no hubo diferencias significativas en la concentración de nutrientes de la hoja entre los tratamientos de B y las hojas de los árboles regados con el tratamiento control B0. En las raíces, sin embargo, el portainjerto que se comportó como más sensible a la toxicidad por B, SO, mostró una disminución de Ca con los tratamientos de exceso de boro. Un hecho también interesante observado en los datos de la concentración mineral fue que los árboles injertados en CM tuvieron una mayor concentración de N en hojas y raíces que aquellos injertados sobre CC, CL y SO, lo que podría haber ayudado a mitigar los efectos adversos de la concentración de boro en las hojas y raíces. ●

### Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por el Proyecto intramural especial 200840I219 del Ministerio de Ciencia e Innovación, y la Consejería de Agricultura de la Región de Murcia.

### Bibliografía ▼

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores que pueden solicitar a través del e-mail: redaccion@eumedia.es