

CULTIVO DE TOMATE (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.) HIDROPÓNICO CON AGUA DESALINIZADA Y DESBORIFICADA EN EL VALLE DE LLUTA¹

HYDROPONIC TOMATO (LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL.) CROP WITH DESALTED AND DEBORIFIED WATER IN LLUTA VALLEY

Francisco Albornoz²; Amador Torres³; María Luisa Tapia⁴; Edmundo Acevedo⁴

RESUMEN

Se realizó un cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero en el Campus Azapa de la Universidad de Tarapacá, con el objetivo de estudiar el efecto del ambiente controlado y la calidad del agua de riego sobre el rendimiento total y la calidad de los frutos de tomate. El ensayo contó con cuatro tratamientos: T1 solución nutritiva preparada con agua del río Lluta (CE 3,96 dS m⁻¹; 7,1 ppm B); T2 solución nutritiva preparada con agua tratada (desalinizada y desborificada) + boro (CE 3,1 dS m⁻¹; 7,1 ppm B); T3 solución nutritiva preparada con agua tratada + sulfato de magnesio (CE 3,96 dS m⁻¹; 0,8 ppm B), y T4 solución nutritiva preparada con agua tratada (CE 3,1 dS m⁻¹; 0,8 ppm B). El diseño fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las plantas se cosecharon hasta el quinto racimo (120 días desde el trasplante), obteniéndose los siguientes rendimientos: T1 = 40 t ha⁻¹, T2 = 39 t ha⁻¹, T3 = 64 t ha⁻¹ y T4 = 61 t ha⁻¹. Se observó que el exceso de boro de los tratamientos T1 y T2 produjo una disminución importante en el rendimiento total de tomate en un 40% y en el rendimiento comercial de un 55%. La totalidad de los tratamientos tuvo un rendimiento mayor al mejor rendimiento informado para los cultivos de tomate al aire libre en el valle de Lluta (30 Mg ha⁻¹). Se concluyó que el cultivo hidropónico de tomate en invernadero en el valle de Lluta es una alternativa para aumentar los rendimientos de este cultivo, y que la principal limitante de este valle para el cultivo de tomate es el alto contenido de boro en sus aguas de riego.

Palabras clave: Máximo rendimiento tomate, toxicidad por boro, agricultura Región de Tarapacá.

ABSTRACT

An hydroponic tomato crop (Lycopersicon esculentum Mill.) was grown in a greenhouse at the University of Tarapaca, Agronomy Faculty, in northern Chile (Arica, Tarapaca Region) to study the effect of a controlled environment and the water quality on the crop yield and fruit quality. The study had four treatments: T1 nutrient solution made with Lluta river water (EC 3.96 dS m⁻¹; 7.1 ppm B); T2 nutrient solution made with desalted and deborified (treated) water + boron (EC 3.1 dS m⁻¹; 7.1 ppm B); T3 nutrient solution made with treated water + magnesium sulphate (EC 3.96 dS m⁻¹; 0.8 ppm B); and, T4 nutrient solution made with treated water (EC 3.1 dS m⁻¹; 0.8 ppm B). The tomato crop harvest was made through the fifth cluster (120 days from transplant) and the yield for every treatment was: T1 = 40 t ha⁻¹, T2 = 39 t ha⁻¹, T3 = 64 t ha⁻¹ and T4 = 61 t ha⁻¹. It was found that excess boron reduced the total tomato yield by 40% and the commercial yield by 55%. All the treatments, however, had higher yield than those reported for tomato grown in the Lluta valley (30 Mg ha⁻¹). It was concluded that growing tomatoes hydroponically in greenhouses is an alternative to the Lluta valley to raise the crop yield, and that the first conditional in this valley is its high water boron content.

Key words: Tomato maximum yield, boron toxicity, Tarapacá Region agriculture.

¹ Proyecto Centro de Investigaciones del Hombre en el Desierto, CIHDE.

² Alumno Agronomía, Universidad de Chile.

³ Depto. Recursos Ambientales, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Tarapacá.

⁴ Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola en la Región de Tarapacá se desarrolla en pequeñas quebradas y valles costeros, entre los que se destacan principalmente el valle de Lluta y el valle de Azapa. La temperatura media anual en los valles de Lluta y Azapa es similar, siendo en el valle de Lluta de 18,4 °C, la máxima media anual es 27,7 °C y la mínima media anual es 9,3 °C y no hay heladas. Este clima favorece la producción de primores de cualquier especie.

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las especies hortícolas de mayor importancia en el mundo, usándose tanto en consumo fresco como en la industria (Giacconi y Escaff, 1995). En Chile, según estimaciones de ODEPA, en la temporada 2003/2004 se cultivaron 1.500 ha de tomate en invernadero y 6.000 ha al aire libre para consumo fresco, además de 10.400 ha destinadas a la agroindustria (Tapia, 2005).

A pesar de las similares condiciones climáticas entre ambos valles, el rendimiento de los cultivos de tomate es muy distinto, alcanzando 180 ton ha⁻¹ año⁻¹ en el valle de Azapa y sólo 30 ton ha⁻¹ año⁻¹ en el valle de Lluta. La diferencia se atribuye principalmente a la calidad de los suelos y del agua de riego. El agua del río Lluta presenta valores de C.E. entre 1,0 y 4,0 dS m⁻¹, y la concentración de boro promedio es de 20 mg L⁻¹ durante el año. En el valle de Azapa la calidad del agua es superior, pero también tiene conductividad eléctrica mayor a 1,0 dS m⁻¹, mientras que la concentración de boro es cercana a 1 mg L⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1

Calidad del agua de riego en el Valle de Azapa y en el Valle de Lluta

Análisis	Valle de Azapa	Valle de Lluta
pH	7,96	7,63
CE (dS m ⁻¹)	1,83	2,34
Calcio (m mol _c L ⁻¹)	4,73	4,16
Magnesio (m mol _c L ⁻¹)	0,94	1,15
Sodio (m mol _c L ⁻¹)	4,09	14,64
Potasio (m mol _c L ⁻¹)	0,14	1,09
Bicarbonato (m mol _c L ⁻¹)	1,67	1,52
Cloruro (m mol _c L ⁻¹)	9,35	18,32
Sulfato (m mol _c L ⁻¹)	2,87	4,39
Boro (ppm)	1,03	20,23

Fuente: Torres y Jiménez, 1998.

Ayers y Westcot (1989) señalan que el tomate es una especie tolerante al boro, desarrollándose bien con concentraciones entre 2,0 y 4,0 mg L⁻¹ en el agua de riego. Wu *et al.* (2004) y Leonardi *et al.* (2004), trabajando con cultivos hidropónicos de tomate, no detectaron diferencia en el rendimiento hasta niveles de 4,5 dS m⁻¹ de C.E. en la solución nutritiva.

El boro es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas. Este es absorbido por las raíces como ácido bórico neutro (B[OH]₃) y como borato (B[OH]₄⁻). La absorción se produce por tres mecanismos: difusión pasiva, transporte facilitado a través de canales proteicos y transporte activo por proteínas específicas (Läuchli, 2002; Dannel *et al.*, 2002; Brown *et al.*, 2002). Forma parte de la pared celular y complejos estables en la membrana plasmática y estimula la germinación del polen y la elongación del tubo polínico (Brown *et al.*, 2002). En la mayoría de los cultivos los síntomas de toxicidad se presentan cuando la concentración de boro en las hojas supera 250 a 300 mg kg⁻¹ (peso seco) (Ayers y Westcot, 1989). Para combatir el exceso de boro, éste se puede lixiviar desde el suelo o ser eliminado desde la fuente de agua. Para lixiviar el boro desde el suelo se requiere una cantidad tres veces mayor de agua que la necesaria para lixiviar la misma cantidad de sodio o cloruro, ya que el boro se mueve lentamente con la solución suelo, al encontrarse altamente adsorbido a los minerales de arcilla, por ello, además se requiere mayor tiempo de lavado (Havlin *et al.*, 1999; Ayers y Westcot, 1989). Los ensayos para retirar el boro desde las fuentes de agua han incluido tecnologías como la ósmosis inversa y el uso de resinas de intercambio, siendo ambos métodos poco eficientes, removiendo menos del 50% del elemento (Sieveka, 1966).

Investigaciones realizadas en la Universidad de Tarapacá han logrado desarrollar un sistema para reducir la concentración de boro en el agua de riego. El sistema desarrollado es capaz de reducir hasta en un 97% la concentración inicial de boro en el agua (Figueroa, 2006)

El trabajo se realizó siguiendo la siguiente hipótesis: Si la principal limitante en el valle de Lluta para el cultivo de tomate es el contenido de boro y sales en el agua de riego, entonces el cultivo de tomate en invernadero con un sistema hidropónico utilizando agua desalinizada y desborificada permite aumentar los rendimientos de este cultivo.

El objetivo de esta investigación fue cuantificar el rendimiento de un cultivo hidropónico de tomate en ambiente controlado, utilizando agua desalinizada y desborficada proveniente del río Lluta. Los objetivos específicos fueron realizar un cultivo de tomate hidropónico con el máximo rendimiento posible de lograr, cuantificar el efecto del boro sobre el rendimiento y cuantificar el efecto de la salinidad del agua sobre el rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre la base de que las condiciones climáticas del valle de Azapa son similares a las de Lluta y a que en Azapa se disponía de la infraestructura de invernadero, el estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Tarapacá, ubicada en el km 12 del Valle de Azapa (18°31'15"S 70°10'42"O), Primera Región de Tarapacá, Arica, Chile. El cultivo fue de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Naomi, establecido en un invernadero de policarbonato de 370 m² (20 m x 18,5 m) con ventilación forzada por medio

de extractores de aire y ventilación pasiva a través de los ventanales, control de temperatura y control de humedad relativa ("cooling" y "fog").

Los plantines fueron producidos en bandejas alveoladas negras de cloruro de polivinilo (PVC) de 128 cavidades, sobre un sustrato compuesto por turba canadiense (80%) y perlita (20%) (Sunshine®, mezcla fina N° 3). Las dimensiones de los alvéolos eran: profundidad 49 mm, diámetro superior 28 mm, diámetro inferior 17 mm y volumen de la cavidad 25 cm³. La siembra se realizó el 14 de diciembre del 2005, utilizando semillas F1 de la variedad Naomi, de la empresa ENZA ZADEN.

Desde la siembra hasta el estado de cotiledón expandido (8 días desde la siembra), los plantines fueron regados sólo con agua. Desde el estado de cotiledón expandido hasta el estado de dos hojas verdaderas (15 días desde la siembra), los plantines fueron regados con la solución nutritiva descrita en los cuadros 2 y 3 diluida al 50%, y a partir del estado de dos hojas verdaderas en adelante, los plantines fueron regados con la solución nutritiva descrita en los cuadros 2 y 3 (Jensen y Malter, 1995).

Cuadro 2

Solución nutritiva de macronutrientes para tomate en un sistema hidropónico

Elemento	Solución A Dos hojas verdaderas hasta primer racimo (ppm)	Solución B Primer racimo hasta término ensayo (ppm)	Compuesto químico (fertilizantes de alta solubilidad)
N	113	144	Nitrato de K, Nitrato de Ca
K	199	199	Fosfato monopotásico, Nitrato de K, Sulfato de K
P	62	62	Fosfato monopotásico
Ca	122	165	Nitrato de Ca
Mg	50	50	Sulfato de Mg
Fe	2,5	2,5	Hierro quelatado

Cuadro 3

Solución nutritiva de micronutrientes para tomates en un sistema hidropónico.

Elemento	Concentración (ppm)	Compuesto químico (productos P.A.)
B	0,44	Ácido bórico
Mn	0,62	Cloruro de Mn
Cu	0,05	Cloruro de Cu
Mo	0,03	Trióxido de Mo
Zn	0,09	Sulfato de Zn

El trasplante se realizó el 24 de enero del 2006, cuando los plantines tenían cuatro hojas verdaderas. El sustrato utilizado fue diatomita, que corresponde a una roca silícica sedimentaria de origen orgánico finamente molida, compuesta por esqueletos microscópicos fosilizados de algas unicelulares y acuáticas. Las principales propiedades físicas y químicas del sustrato se presentan en el Cuadro 4. El sustrato fue contenido en mangas de polietileno negro de 25 cm de diámetro. El marco de plantación fue de 0,4 m x 1,2 m (20.833 plantas ha⁻¹). Cada manga poseía aberturas en su parte inferior, las que servían como drenaje. La solución nutritiva no fue recolectada ni reutilizada.

Cuadro 4
Características del sustrato

Propiedad	Valor
Densidad aparente (g cm ⁻³) ¹	0,63
Densidad real (g cm ⁻³) ²	2,59
Espacio poroso total (%) ³	75,8
Capacidad de retención de agua (mL L ⁻¹) ⁴	615,4
Materia orgánica (%) ⁵	3,01
pH ⁶	6,66
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) ⁶	0,80

¹ Determinación mediante el método propuesto por De Boodt *et al.* (1974).

² Determinación mediante el método propuesto por De Boodt *et al.* (1974).

³ $EPT(\%) = (1 - \frac{Da}{Dr}) \times 100$

⁴ Determinación mediante el método propuesto por Martínez (1992).

⁵ Determinada por el método de calcinación (Martínez, 1992).

⁶ Propiedades medidas en extracto saturado, descrito por Warncke (1986).

Las plantas fueron conducidas a un eje vertical, sin raleo de flores ni de frutos, despuntándose sobre el séptimo racimo, dejando una hoja sobre éste. El día 17 de marzo se hizo una aplicación de NITROFOSKA® para revitalizar a las plantas tras la poda.

El sistema de riego fue por goteo, con goteos en línea desmontables, cuyo caudal era de 4 L h⁻¹, existiendo un gotero por planta. Se dieron riegos sin solución nutritiva, utilizando el agua

correspondiente a cada tratamiento, una vez por semana, para evitar la acumulación de solutos en el sustrato.

Los parámetros ambientales al interior del invernadero se manejaron en forma manual desde la consola de control climático Multi'Clim Modelo 280 (Fabricante: Anjou Automation), incorporada en el invernadero. La temperatura media ambiental en el invernadero fue de 27 °C durante el día y la humedad relativa media 57%. La temperatura media ambiental en la noche fue de 21 °C y la humedad relativa media en la noche fue de 46%. Estos parámetros fueron registrados con un Higrotermógrafo Oakton Modelo 37250. Durante los meses de enero, febrero y marzo la ventilación forzada del invernadero se mantuvo funcionando en forma continua desde las 8:30 hasta las 18:00 horas, mientras que los paneles húmedos para control de temperatura y humedad relativa fueron encendidos cuando la temperatura alcanzaba los 30 °C, temperatura medida con termómetro ambiental. En los meses de abril y mayo, la ventilación forzada funcionó continuamente desde las 10:00 hasta las 17:00 horas, mientras que los paneles húmedos fueron activados 4 veces al día (12:00-14:00-16:00-18:00 horas) con el fin de mantener la humedad relativa en un valor de 55%. Se registró la C.E. de las soluciones al momento de la preparación. El pH de las soluciones se mantuvo en 5,9, utilizándose ácido fosfórico cuando fue necesario.

Para la elaboración de los tratamientos del ensayo se utilizaron dos fuentes de agua: agua obtenida directamente desde el río Lluta y agua tratada por ósmosis inversa adquirida en la empresa Aguas Arica. El agua para todo el ensayo fue transportada al lugar del estudio en camiones aljibe, donde se almacenó en estanques de 1.000 l. En el cuadro 8 se presenta el análisis químico de ambas fuentes.

Con estas dos fuentes de agua se prepararon cuatro soluciones nutritivas para cada tratamiento. Los tratamientos fueron: T1 solución nutritiva preparada con agua del río Lluta (CE 3,96 dS m⁻¹; 7,1 ppm B); T2 solución nutritiva preparada con agua tratada por ósmosis inversa y desborificada (desalinizada y desborificada) + boro (CE 3,1 dS m⁻¹; 7,1 ppm B); T3 solución nutritiva preparada con agua tratada + sulfato de magnesio (CE 3,96 dS m⁻¹; 0,8 ppm B), y T4 solución nutritiva preparada con agua tratada (CE 3,1 dS m⁻¹; 0,8 ppm B). El boro fue adicionado como ácido bórico.

Cuadro 5
Agroquímicos aplicados para control de plagas y enfermedades

Producto	Ingrediente Activo	Dosis	Control	Fecha Aplicación
PREVICUR® N	Propamocarb HCl	1 mL L ⁻¹	Hongos en el sustrato	24/01/06
CONFIDOR® FORTE 200 SL	Imidacloprid	40 mL L ⁻¹	Mosquita blanca	24/01/06; 15/02/06; 22/02/06; 13/03/06
LANNATE® 90	Metomilo	50 g (100 L) ⁻¹	Polilla del tomate	03/02/06; 15/02/06; 22/02/06
SUNFIRE® 240 SC	Clorfenapir	1 mL L ⁻¹	Polilla del tomate	13/03/06
ACOIDAL® WG	Azufre	----	Oídio	15/02/06

Cuadro 6
Análisis químico de las aguas utilizadas para la preparación de las soluciones nutritivas

Parámetro	Agua tratada	Agua Lluta
pH	6,30	7,50
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	3,1	3,96
Cloruro (Cl ⁻) (m mol _c L ⁻¹)	3,88	8,24
Sulfato (SO ₄ ⁻²) (m mol _c L ⁻¹)	0,12	2,23
Nitrato (NO ₃ ⁻) (m mol _c L ⁻¹)	0,23	0,05
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (m mol _c L ⁻¹)	0,41	0,95
Carbonato (CO ₃ ⁻²) (m mol _c L ⁻¹)	0,00	0,00
Sodio (Na ⁺) (m mol _c L ⁻¹)	2,35	7,31
Potasio (K ⁺) (m mol _c L ⁻¹)	0,11	0,78
Calcio (Ca ⁺²) (m mol _c L ⁻¹)	0,51	0,95
Magnesio (Mg ⁺²) (m mol _c L ⁻¹)	0,09	1,03
Boro (B) (mg L ⁻¹)	0,80	7,10
RAS	3,00	4,30
Sólidos Totales Disueltos (mg L ⁻¹)	342	1.111

Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones en un diseño de bloques completos al azar. Cada unidad experimental tenía un tamaño de 10,1 m² con 21 plantas por unidad experimental.

El sistema de fertirrigación fue a solución "perdida". Las soluciones nutritivas se prepararon en estanques de 600 l. Cada estanque contaba con un agitador que funcionaba inyectando aire a la solución nutritiva.

Se evaluó el rendimiento comercial y desecho durante la época de cosecha entre el primer y quinto racimo, muestreando 7 plantas por unidad experimental. Los frutos fueron cosechados una vez que tuvieron color rojo completo. En cada planta

se registró el número de frutos de cada racimo, el peso de cada fruto, el diámetro polar y ecuatorial, la resistencia de la pulpa a la presión y la concentración de sólidos solubles. Los diámetros de los frutos se midieron utilizando un pie de metro marca Scala, modelo 222-A, de 18 cm. La resistencia de la pulpa a la presión se determinó con un presionómetro marca Effegi modelo FT 011 (0-11 lb), utilizando un émbolo de 8 mm de diámetro. La concentración de sólidos solubles se midió con un refractómetro portátil termocompensado marca Arquimed modelo 2003319.

Para el caso del rendimiento comercial los frutos fueron separados en las siguientes categorías: extra

(>250 g), primera (150-250 g), segunda (100-149 g) y tercera (80-99 g). Los frutos clasificados como “desecho” se incluyeron en esta categoría por ser de bajo calibre (< 80 g), presentar partidura (cracking) o daño por polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick).

Los resultados obtenidos fueron analizados con un Análisis de Varianza y en aquellos casos donde se encontraron diferencias significativas las medias se separaron utilizando el test de la Diferencia Mínima Significativa con un nivel de error del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

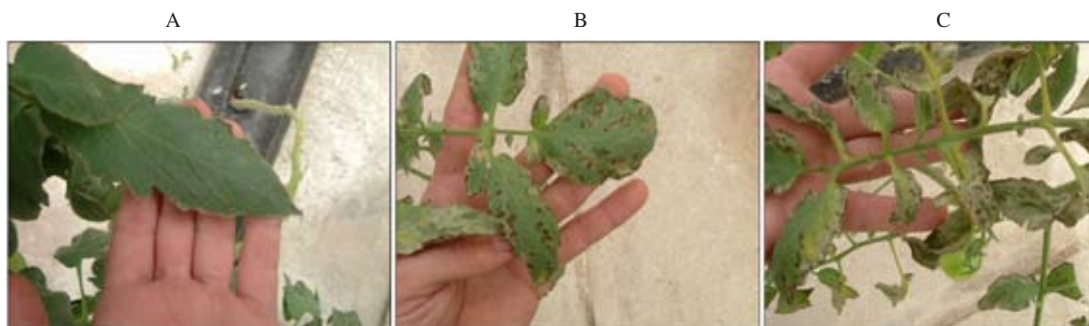
Las plantas de los tratamientos con alta concentración de boro (T1 y T2) presentaron síntomas visuales de toxicidad, los que comenzaron como una leve clorosis y quemadura de los bordes en las hojas basales de las plantas, y luego continuaron con quemaduras en la lámina media de las hojas, clorosis total de la hoja y finalmente necrosis de ésta (Figura 1). Síntomas similares han sido descritos por Papadakis *et al.* (2004); Edelstein *et al.* (2005); Alpaslan y Gunes (2001) y Ben-Gal y Shani (2002) para toxicidad de boro trabajando con distintos cultivos. La sintomatología visual fue evidente a partir de la tercera semana del ensayo (20 días, estado de 10 hojas verdaderas) y se manifestó inicialmente en las hojas más viejas de la planta, para luego afectar a la planta en su totalidad. En el tratamiento T3 (alta salinidad sin exceso de boro) se apreció sólo un leve síntoma por acumulación de sales, el que se manifestó como quemadura de los bordes de las hojas.

Es notorio el efecto del exceso de boro en la producción del cultivo incluyendo reducción en

el número de frutos por racimo y en el peso de los frutos. La calidad de la producción también fue afectada, los frutos tuvieron menor diámetro, menor resistencia de la pulpa a la presión y menor concentración de sólidos solubles (Cuadro 7).

La firmeza de los frutos, expresada como resistencia de la pulpa a la presión, fue mayor en los tratamientos T3 y T4, lo que los hace más resistentes al transporte hacia los lugares de distribución, favoreciendo su comercialización. La mayor concentración de sólidos solubles de los frutos provenientes de los tratamientos 1, 3 y 4 podría traducirse en la preferencia de los consumidores por éstos, ya que estos compuestos le dan mejor sabor a los frutos de tomate.

Ben-Gal y Shani (2002), trabajando con tomate hidropónico, encontraron evidencias de que con concentraciones crecientes de sales en la solución nutritiva hasta niveles de CE de 3,0 dS m⁻¹, el efecto tóxico del boro se veía aminorado al ir aumentando su concentración hasta 8,0 mg L⁻¹. Similares resultados fueron reportados por Edelstein *et al.* (2005) trabajando con plantas de melón y CE de 1,8 y 4,6 dS m⁻¹ y concentraciones crecientes de boro hasta 10 mg L⁻¹. Bastías *et al.* (2004) e Ismail (2003) obtuvieron resultados similares trabajando con plantas de maíz y concentraciones de boro de hasta 40 mg kg⁻¹ en el suelo, viéndose disminuido el efecto tóxico del boro con concentraciones de NaCl superiores a 100 mM. Los resultados obtenidos con este ensayo sólo muestran un efecto tampón de la salinidad sobre el exceso de boro en la concentración de sólidos solubles de los frutos, mientras que en el resto de los parámetros medidos la combinación de salinidad con boro resulta en un aumento no significativo de los valores por sobre los valores del tratamiento T2 (exceso de boro).



A: daño leve; B: daño moderado – alto; C: daño grave.

Figura 1. Nivel de daño por boro en hojas de tomate.

Cuadro 7

Medias de cada tratamiento para peso fresco de fruto, N° de frutos por racimo, diámetro ecuatorial, resistencia de la pulpa a la presión y concentración de sólidos solubles

Tratamiento	P.F. fruto (g)	N° Frutos/Racimo	Diámetro ecuatorial (cm)	Resistencia Pulpa (kg)	Concentración SS (°Brix)
1	96,3 b*	4,04 b	5,70 b	3,11 b	4,6 a
2	97,2 b	3,98 b	5,65 b	2,92 b	4,0 b
3	134,7 a	4,70 a	6,44 a	3,62 a	4,5 a
4	127,7 a	4,65 a	6,30 a	3,56 a	4,7 a
CV(%)	10,16	7,55	3,95	7,05	5,4

* Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas (a un nivel del 5%) entre los tratamientos.

Cuadro 8

Rendimiento de cada tratamiento separado por calibre

Tratamiento	Rendimiento Total	Desecho	Tercera	Segunda	Primera	Extra
	ton ha ⁻¹					
1	40,1 b*	14,04 a	7,73 a	15,76 b	2,58 b	0,00 a
2	39,3 b	13,48 a	8,42 a	14,03 b	3,37 b	0,00 a
3	64,1 a	7,33 b	5,49 a	27,93 a	22,44 a	0,92 a
4	61,2 a	7,87 b	7,43 a	28,42 a	17,05 a	0,43 a

* Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas (a un nivel del 5%) entre los tratamientos.

El efecto de la concentración de sales y boro en la solución nutritiva sobre el rendimiento total, rendimiento comercial y desecho se presenta en el Cuadro 8.

En el Cuadro 8 se puede apreciar que al aumentar la concentración de boro en la solución nutritiva de 0,8 mg L⁻¹ a 7,1 mg L⁻¹, el rendimiento total disminuyó en un 40%, mientras que el rendimiento comercial lo hizo en un 55%. La producción de desecho debido a bajo calibre aumentó en un 50% al aumentar la concentración de boro. La producción de frutos de tercera no tuvo diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, la producción de frutos de segunda y primera categoría aumentó notablemente al disminuir el contenido de boro de la solución nutritiva, aumentando la producción de segunda categoría en un 50% y la de primera en un 85%. Esto se debió a una probable mayor área fotosintética de las plantas de los tratamientos T3 y T4, que no tuvieron lesiones foliares debido a las quemaduras por exceso de boro, y así pudieron aportar una mayor cantidad

de asimilados a los frutos, lo que se tradujo en frutos de mayor tamaño. Papadakis *et al.* (2004) trabajando con un cultivo de naranja cv. Navelina informaron que al aumentar la concentración de boro en la solución nutritiva disminuía la concentración de clorofila de las hojas y el tamaño de los cloroplastos, lo que pudo haber ocurrido en este ensayo, ya que al observar las plantas de los tratamientos con exceso de boro versus las plantas de los tratamientos con niveles normales de boro, se hacía evidente la diferencia en el color de las hojas, presentando un color verde amarillento hasta un color pardo en el primer caso, mientras que las plantas con un adecuado suministro de boro tenían un color verde "normal".

Los resultados de los tratamientos T3 y T4 muestran que el rendimiento fue relativamente alto aun con el alto nivel salino de la solución utilizada, acercándose a los valores obtenidos por Leonardi *et al.* (2004) y por Wu *et al.* (2004), quienes no observaron diferencias en el rendimiento con niveles de hasta 4,5 dS m⁻¹ en la solución nutritiva.

CONCLUSIONES

El cultivo de tomate cv. Naomi en un sistema hidropónico en invernadero con agua desborificada en el valle de Lluta es una alternativa para aumentar los rendimientos de este cultivo. Los resultados obtenidos durante el ensayo muestran un aumento promedio de un 60% para el rendimiento por racimo entre el primer y quinto racimo del cultivo. El ren-

dimiento total y el rendimiento comercial se ven reducidos en un 40% y 55%, respectivamente, con la concentración de boro en el agua del río Lluta.

La principal limitante del valle de Lluta para el cultivo de tomates es la concentración de boro en sus aguas de riego.

El contenido total de sales del agua del río Lluta no es un problema para el cultivo de tomates, ya que no produce disminución del rendimiento.

LITERATURA CITADA

- ALPASLAN, M.; GUNES, A. 2001.** Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. *Plant and Soil* 236: 123-128.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. 1989.** Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper N° 29. FAO. Roma. 174 p.
- BASTÍAS, E. I.; GONZÁLEZ-MORO, M. B.; GONZÁLEZ-MURÚA, C. 2004.** *Zea mays* L. amylacea from the Lluta valley (Arica-Chile) tolerates salinity stress when high levels of boron are available. *Plant and Soil* 267: 73-84.
- BEN-GAL A, SHANI U. 2002.** Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. *Plant and Soil* 247: 211-221.
- BROWN, P.H.; BELLALLOU, N.; WIMMER, M.A.; BASSIL, E.S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANDEL, F.; RÖMHELD, V. 2002.** Boron in Plant Biology. *Plant Biology* 4: 211-229.
- DANDEL, F.; PFEFFER, H.; RÖMHELD, V. 2002.** Update on boron in higher plants-Uptake, primary translocation and compartmentation. *Plant Biology* 4: 193-204.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. 1974.** Methods for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062
- EDELSTEIN, M.; BEN-HUR, M.; COHEN, R.; BURGER, Y.; RAVINA, I. 2005.** Boron and salinity effects on grafted and non-grafted melon plants. *Plant and Soil* 269(1-2): 273-284.
- FIGUEROA, L. 2006.** En: SEMINARIO "Nuevos escenarios para el desarrollo de la agricultura de desierto en Arica y Parinacota". 18 mayo de 2006. Arica, Universidad de Tarapacá, Facultad de Agronomía.
- GIACONI, V.; ESCAFF, M. 1995.** Cultivo de hortalizas. 11ª edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 337 p.
- HAVLIN, J.; BEATON, J.; TISDALE, S.; NELSON, W. 1999.** Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Sexta edición. Prentice Hall. United States of America. 503 p.
- ISMAIL, A. M. 2003.** Response of Maize and sorghum to excess boron and salinity. *Biologia Plantarum* 47(2): 313-316.
- JENSEN, M.; MALTER, A. 1995.** Protected Agriculture: A global review. World Bank Technical Paper N° 253. The World Bank, Washington D.C., Estados Unidos de Norteamérica. 157 p.
- LÄUCHLI, A. 2002.** Functions of boron in higher plants: recent advances and open questions. *Plant Biology* 4: 190-192.
- LEONARDI, C.; MARTORANA, M.; GIUFFRIDA, F.; FOGLIANO, V.; PERNICE, R. 2004.** Tomato fruit quality in relation to the content of sodium chloride in the nutrient solution. *Acta Horticulturae* (659): 769-774.
- MARTÍNEZ, F. X. 1992.** Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura* 11: 55-66.
- PAPADAKIS, I.E.; DIMASSI, K.N.; BOSABADILIS, A.M.; THERIOS, I.N.; PATAKAS, A.; GIANNAKOULA, A. 2004.** Effects of boron excess on some physiological and anatomical parameters of "Navelina" orange plants grafted on two rootstocks. *Environmental and Experimental Botany* 51: 247-257.
- SIEVEKA, E. H. 1966.** Reverse osmosis pilot plants. In: MERTEN, U. Desalination by reverse osmosis. The Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, Estados Unidos de América. pp. 239-270.
- TAPIA, B. 2005.** Mercado del tomate para consumo en fresco. Disponible en <http://www.odepa.gob.cl/> (Visitado el 11/07/2006).
- TORRES, A.; JIMÉNEZ, M. 1998.** Programa de investigación en parcelas experimentales, Cuenca Río San José. Universidad de Tarapacá-DGA Arica.
- WARNCKE, D. D. 1986.** Analyzing greenhouse growth media by the saturation extract method. *HortScience* 21: 223-225.
- WU, M.; BUCK, J.; KUBOTA, C. 2004.** Effects of nutrient solution EC, plant microclimate and cultivars on fruit quality and yield of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Acta Horticulturae* (659): 541-547.