

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon
esculentum* Mill.) HIDROPÓNICO CON
AGUA DESALINIZADA Y DESBORIFICADA
EN EL VALLE DE LLUTA**

Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo Mención: Manejo de Suelos y Aguas

FRANCISCO JAVIER ALBORNOZ GUTIÉRREZ

PROFESORES GUÍAS SR. EDMUNDO ACEVEDO H. Ing. Agrónomo M.S. Ph.D.

SRA. MARIA LUISA TAPIA F. Ing. Agrónomo M.Sc.

Santiago, Chile. 2006

PROFESORES EVALUADORES SR. PABLO ALVARADO V. Ing. Agrónomo M.Sc. SR. RAMÓN
VALDERAS O. Ing. Civil M.Sc. Colaborador PROFESOR SR. AMADOR TORRES H.

AGRADECIMIENTOS .	1
RESUMEN .	3
ABSTRACT .	5
INTRODUCCIÓN .	7
Calidad de agua y rendimiento .	9
Cultivos hidropónicos .	10
Hipótesis y objetivos .	11
MATERIALES Y MÉTODOS .	13
Producción de plantines y solución nutritiva .	13
Establecimiento y manejo del cultivo . .	14
Control de insectos y enfermedades .	16
Tratamientos del ensayo .	16
Observaciones .	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .	19
CONCLUSIONES . .	23
BIBLIOGRAFÍA .	25
APÉNDICE I. REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA MÁXIMAS Y MÍNIMAS ..	29

AGRADECIMIENTOS

Es mi deber agradecerle a las personas que me ayudaron en la realización de este trabajo, comenzando por mis profesores Edmundo Acevedo, María Luisa Tapia y Amador Torres, quienes me ofrecieron la oportunidad de formar parte de este proyecto. Gracias a la gente de Arica, al decano de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Tarapacá, Don Eugenio Doussoulin, a los profesores del Campus Azapa, Mónica Jiménez, Germán Sepúlveda, Pilar Mazuela, Elizabeth Bastías y Hugo Escobar; a los funcionarios Ismael Cortés, Javier Domínguez y Elvis Hurtado.

Le agradezco a toda mi familia por su apoyo, a mis padres Gilda y René; a mis hermanos Claudio y Gilda A.; a Graciela, Vicentina, Georgina y Mario; a mis amigos y a Ana.

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. Las condiciones climáticas fueron similares a las encontradas en el valle de Lluta. 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 transplante), obteniéndose los siguientes rendimientos: T1 = 40 Mg ha⁻¹, T2 = 39 Mg ha⁻¹, T3 = 64 Mg ha⁻¹ y T4 = 61 Mg 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 College, 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 Mg ha⁻¹, T2 = 39 Mg ha⁻¹, T3 = 64 Mg ha⁻¹ and T4 = 61 Mg 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.

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.

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pertenece a la familia Solanaceae. Es una de las especies hortícolas de mayor importancia en el mundo, usándose tanto en consumo fresco como en la industria (Giaconi y Escaff, 1995). En Chile, según estimaciones de ODEPA, en la temporada 2003/04 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).

La región de Tarapacá posee un clima favorable para el cultivo de primores, esto es, la obtención de productos agrícolas fuera de temporada, con antelación al resto de las regiones del país que poseen inviernos más fríos. Debido a la cosecha más temprana, el precio obtenido por este producto en el mercado es más alto que el que obtiene el mismo producto dentro de la temporada normal de cosecha.

El tomate es una especie que requiere clima templado y es sensible a las heladas (Giaconi y Escaff, 1995). A la siembra y durante la emergencia la temperatura ambiental óptima es de 20 a 22°C, mientras que durante el resto del período de crecimiento la temperatura óptima diurna es de 21 a 26°C y la óptima nocturna de 16° a 18,5°C (Controlled Environment Agriculture Center, 2000). La humedad relativa sobre el 75% favorece la obtención de frutos de mayor tamaño y con menos defectos, sin embargo altos porcentajes de humedad relativa estimulan el desarrollo de hongos y bacterias, por

CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) HIDROPÓNICO CON AGUA DESALINIZADA Y DESBORIFICADA EN EL VALLE DE LLUTA

lo que se recomienda mantener la humedad relativa media cercana al 50% (Escaff *et al.*, 2005).

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 (Cuadro 1) y no hay heladas.

Cuadro 1. Características climáticas del Valle de Lluta y del Valle de Azapa.

Cuadro 1. Características climáticas del Valle de Lluta y del Valle de Azapa.	T° Media anual	T° Max. Media	T° Min. Media	Días grado base 5°C	Días grado base 10°C	ET ₀ anual mm
	----- °C -----					
Valle de Azapa ¹	19,0	27,4	13,1	5.134	3.309	1.200
Valle de Lluta ²	18,4	27,7	9,3	4.875	3.050	1.759

¹ Datos registrados en Arica, km 0 Valle de Azapa.

² Datos registrados en la localidad de Poconchile, km 37 Valle de Lluta.

FUENTE: Sotomayor, 1995.

En el cuadro anterior se observa que ambos valles tienen condiciones climáticas relativamente similares. El rendimiento de los cultivos de tomate es, sin embargo, muy distinto, alcanzando 180 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en el valle de Azapa y sólo 30 Mg 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 todo 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 2).

Cuadro 2. 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 (meq L ⁻¹)	9,45	8,31
Magnesio (meq L ⁻¹)	1,88	2,29
Sodio (meq L ⁻¹)	4,09	14,64
Potasio (meq L ⁻¹)	0,14	1,09
Bicarbonato (meq L ⁻¹)	1,67	1,52
Cloruro (meq L ⁻¹)	9,35	18,32
Sulfato (meq L ⁻¹)	5,73	8,77
Boro (ppm)	1,03	20,23

FUENTE: Torres y Jiménez, 1998.

Calidad de agua y rendimiento

La calidad del agua para usos agrícolas esta determinada por el contenido total de sales y por su constitución iónica (Kovda, 1973). Los problemas causados por la salinidad del agua de riego ocurren cuando las sales se acumulan en la zona de las raíces de las plantas en un nivel tal que su efecto osmótico hace que el cultivo no pueda absorber suficiente agua para satisfacer la demanda evapotranspirativa, generándose estrés hídrico (Hillel, 1980; Bresler *et al.*, 1982).

Como se aprecia en el cuadro 2, la conductividad eléctrica promedio del agua del río Lluta es mayor a la del río San José (Valle de Azapa) casi por $0,5 \text{ dS m}^{-1}$. Esta mayor conductividad eléctrica tiene su origen en la mayor concentración de cloruros, sulfatos y sodio que aportan los afluentes del río Lluta, principalmente el río Azufre (DGA, 2004). Sin embargo, el mayor problema para la agricultura se genera por la concentración veinte veces mayor de boro en el agua de Lluta por sobre la de Azapa, lo que limita la elección de los cultivos y reduce sus rendimientos. Los cultivos frutales son inexistentes en el valle de Lluta, mientras que entre los cultivos hortícolas se pueden encontrar porotos verdes, tomates, melones y zapallos italianos con rendimientos muy bajos. El cultivo más extendido en el valle de Lluta es el maíz, ya que existe una variedad adaptada a la zona conocida como maíz lluteño (Bastías *et al.*, 2004).

Ayers y Westcot (1989) señalan que para que el tomate exprese 100% de su rendimiento potencial, requiere que la CE en el agua de riego sea inferior a $1,7 \text{ dS m}^{-1}$, siempre que el resto de los factores ambientales se encuentren en su rango óptimo. Esta especie, cultivada en suelo, disminuye su rendimiento cuando la C.E. es mayor, llegando a cero rendimiento con C.E. del extracto saturado de $8,4 \text{ dS m}^{-1}$. Sin embargo, en cultivos hidropónicos, Wu *et al.* (2004) y Lepardi *et al.* (2004) no detectaron diferencia en el rendimiento hasta niveles de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ de C.E. en la solución nutritiva. El cultivo de tomate es tolerante al boro, desarrollándose bien con concentraciones entre $2,0$ y $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ en el agua de riego (Ayers y Westcot, 1989).

La concentración de sales en el agua del río Lluta (Cuadro 2), disminuiría el rendimiento potencial del cultivo de tomate en un 10%. El exceso de boro del agua del río Lluta generaría problemas de toxicidad por este elemento. Además, en el caso de utilizarse riego por aspersion, la concentración de sodio y/o cloruro ($> 10 \text{ meq L}^{-1}$) puede generar lesiones foliares al depositarse sobre la lámina de las hojas (Ayers y Westcot, 1989).

El boro es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas. Éste es absorbido por las raíces como ácido bórico neutro ($\text{B}[\text{OH}]_3$) y como borato ($\text{B}[\text{OH}]_4^-$). 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). La absorción por simple difusión es el paso de ácido bórico neutro a través de la bicapa lipídica de la membrana plasmática, facilitado por el carácter lipofílico del ácido bórico, mientras que la absorción a través de canales

proteicos se produce por medio de proteínas conocidas como acuaporinas, capaces de transportar agua y algunos solutos neutros. Estos dos mecanismos de absorción de boro actuarían en concentraciones adecuadas a altas de boro en el medio (Läuchli, 2002; Dannel *et al.*, 2002; Brown *et al.*, 2002). Pfeffer *et al.* (1999), trabajando en maravilla, ha presentado evidencias de un tercer proceso de absorción de boro, un proceso activo que requiere energía y utiliza proteínas del tipo carrier, funcionando sólo con bajas concentraciones de boro en el medio ($< 1 \mu\text{M}$). La principal función del boro en las plantas superiores es estructural y reproductiva (Läuchli, 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 osmosis inversa y el uso de resinas de intercambio, siendo ambos métodos poco eficientes, removiendo menos del 50% del elemento (Sieveka, 1966).

Actualmente es posible disminuir la concentración de sal del agua, a un precio razonable, mediante el uso de técnicas como la osmosis inversa (Reid, 1966). Esta técnica consiste en la aplicación de presión sobre una solución salina, con el fin de generar un flujo desde una solución concentrada hacia una solución menos concentrada en sales a través de membranas semipermeables (Sieveka, 1966). El proceso requiere una energía de 2,2 KWh m^{-3} de agua producida, con un costo que varía entre 0,28 y 0,41 $\text{US\$ m}^{-3}$ para aguas salobres y entre 1,02 y 1,54 $\text{US\$ m}^{-3}$ para agua de mar (Furukawa, 2003; UNEP – Internacional Environment Technology Centre, 1997).

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, sin embargo los detalles de la tecnología utilizada para tal fin no están disponibles aún, debido a que se encuentra en proceso de obtención de patente (Figueroa, 2006)

Cultivos hidropónicos

El cultivo hidropónico es el método más intensivo de producción agrícola, con el que se logran los más altos rendimientos. Es altamente productivo, optimiza recursos como espacio y agua, y es amigable con el ambiente (Jensen y Malter, 1995). Tiene ventajas en relación al cultivo en suelo permitiendo un mejor control nutritivo, mejor control sanitario y mejor programación cultural (Alpi y Tognoni, 1991). En el cuadro 3 se muestra

una comparación entre los rendimientos obtenidos por cultivos hidropónicos en invernadero versus el mismo cultivo al aire libre.

Cuadro 3. Rendimiento de cultivos hortícolas producidos en sistemas hidropónicos en invernaderos de zonas áridas y al aire libre.

Cultivo	Cultivo hidropónico en invernadero		Cultivo al aire libre	
	Rendimiento/cultivo (Mg/ha)	nº cultivos/año	Rendimiento total (Mg/ha/año)	Rendimiento total (Mg/ha/año)
Brócoli	32,5	3	97,5	10,5
Fréjol	11,5	4	46,0	6,0
Coliflor	57,5	3	172,5	30,0
Pepino	250,0	3	750,0	30,0
Berenjena	28,0	2	56,0	20,0
Lechuga	31,3	10	313,0	52,0
Pimiento	32,0	3	96,0	16,0
Tomate	187,5	2	375,0	100,0

FUENTE: Jensen y Malter, 1995.

Los invernaderos son construcciones provistas de una cubierta que permiten controlar, en cierta medida, las condiciones climáticas en su interior, con el fin de proporcionar el ambiente ideal para el desarrollo y crecimiento de los cultivos (Alpi y Tognoni, 1991; Jensen y Malter, 1995).

Hipótesis y objetivos

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 desborificada 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

El estudio se realizó en la Facultad de Agronomía 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").

Producción de plantines y solución nutritiva

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

CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) HIDROPÓNICO CON AGUA DESALINIZADA Y DESBORIFICADA EN EL VALLE DE LLUTA

hasta el estado de dos hojas verdaderas (15 días desde la siembra), los plantines fueron regados con la solución nutritiva descrita en los cuadros 4 y 5 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 4 y 5 (Jensen y Malter, 1995).

Cuadro 4. Solución nutritiva de macronutrientes para tomate en un sistema hidropónico.

Elemento	Solución A Cotiledón expandido 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 5. 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

Establecimiento y manejo del cultivo

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 6. El sustrato se puso 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 6. 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)

$$3. \text{EPT} (\%) = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) \times 100$$

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 goteros 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% (ver Apéndice I). 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 hr, 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. El consumo de agua de los paneles húmedos para control de temperatura y humedad relativa fue de 1500 L día^{-1} , valor demasiado alto debido a la existencia de filtraciones no detectadas en los ductos de circulación del agua. En los meses de abril y mayo, la ventilación forzada funcionó continuamente desde las 10:00 hasta las 17:00 hr, mientras que los paneles húmedos fueron activados 4 veces al día (12:00 – 14:00 – 16:00 – 18:00 hr) con el fin de mantener la humedad relativa en un valor de 55% . Los parámetros que se controlaron en la solución nutritiva fueron pH y C.E. Estos parámetros se midieron al momento de la preparación de la solución, y en el caso

del pH, éste se ajustó al valor de 5,9 con ácido fosfórico diluido al 50% cuando fue necesario.

Control de insectos y enfermedades

Al momento del trasplante se hizo una aplicación preventiva de Propamocarb HCl (PREVICUR® N) para evitar el contagio de posibles hongos en el sustrato, como por ejemplo *Phytophthora spp.*, *Botrytis cinerea*, *Pythium spp.*, en dosis de 1 mL L^{-1} a través del agua de riego, y una aplicación de Imidacloprid (CONFIDOR® FORTE 200 SL) en dosis de 40 mL L^{-1} asperjada sobre el follaje para controlar mosquita blanca (*Trialeurodes vaporarum* Westwood), la que infectó al cultivo durante la etapa de almácigo. Los días 15 de Febrero, 22 de Febrero y 13 de Marzo se hicieron aplicaciones de Imidacloprid para controlar mosquita blanca (*Trialeurodes vaporarum* Westwood), debido a que la aplicación del trasplante no eliminó por completo el foco de infección. Los días 3 de Febrero, 15 de Febrero y 22 de Febrero se hicieron aplicaciones de Metomilo (LANNATE® 90) en dosis de $50 \text{ g (100 L)}^{-1}$ para controlar polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick) al aparecer daños y larvas sobre las hojas y encontrarse adultos en vuelo. El día 13 de Marzo se hizo una aplicación preventiva de Clorfenapir (SUNFIRE® 240 SC) en dosis de 1 mL L^{-1} , para evitar posibles reapariciones de polilla del tomate debido a la acumulación térmica. El día 15 de Febrero se hizo una aplicación de azufre (ACOIDAL® WG), para controlar la aparición de oidio (*Oidium spp.*).

Tratamientos del ensayo

Se utilizaron dos fuentes de agua: agua obtenida directamente desde el río Lluta y agua tratada por osmosis 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 1000 L. En el cuadro a continuación se presenta el análisis químico de ambas fuentes.

Cuadro 7. 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)	0,54	1,74
Cloruro (Cl ⁻) (meq L ⁻¹)	3,88	8,24
Sulfato (SO ₄ ⁻²) (meq L ⁻¹)	0,24	4,46
Nitrato (NO ₃ ⁻) (meq L ⁻¹)	0,23	0,05
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (meq L ⁻¹)	0,41	0,95
Carbonato (CO ₃ ⁻²) (meq L ⁻¹)	0,00	0,00
Sodio (Na ⁺) (meq L ⁻¹)	2,35	7,31
Potasio (K ⁺) (meq L ⁻¹)	0,11	0,78
Calcio (Ca ⁺²) (meq L ⁻¹)	1,02	1,89
Magnesio (Mg ⁺²) (meq L ⁻¹)	0,18	2,05
Boro (B) (mg L ⁻¹)	0,80	7,10
RAS	3,00	4,30
Sólidos Totales Disueltos (mg L ⁻¹)	342	1.111

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 osmosis 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 8. Descripción de los tratamientos utilizados.

Tratamientos	C.E ₁ (dS m ⁻¹)	Boro (ppm)	Agua usada para la preparación de la solución nutritiva
T1	3,96	7,1	Agua río Lluta
T2	3,10	7,1	Agua desalinizada y desborificada + ácido bórico
T3	3,96	0,8	Agua desalinizada y desborificada + sulfato de magnesio
T4	3,10	0,8	Agua desalinizada y desborificada

Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones en un diseño de bloques completos al azar², como se muestra en el cuadro 9. Cada unidad experimental tenía un tamaño de 10,1 m² con 21 plantas por unidad experimental.

Cuadro 9. Distribución de los bloques y los tratamientos en el invernadero.

Bloque IV	Bloque III	Bloque II	Bloque I
T0	T3	T2	T1
T2	T1	T0	T3
T1	T0	T3	T2
T3	T2	T1	T0

El sistema de fertirrigación fue a solución “perdida”, es decir, las soluciones nutritivas

no se reutilizaron. Las soluciones nutritivas se prepararon en estanques de 600 L. Cada estanque contaba con un agitador que funcionaba inyectando aire a la solución nutritiva.

Observaciones

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, con el cual se hizo una medición por fruto sin epidermis en la zona ecuatorial. La concentración de sólidos solubles se midió con un refractómetro portátil termocompensado marca Arquimed modelo 2003319, aplicando sobre éste unas gotas de jugo extraído manualmente.

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%. Con el fin de ser analizados por ANDEVA, el número de frutos por racimo fue transformado utilizando la siguiente relación:

$$x = \sqrt{(n+1)} \quad (\text{Little y Hills, 1976})$$

Para el ANDEVA de los resultados de concentración de sólidos solubles en °Brix, los datos fueron transformados utilizando la transformación del arcoseno de la raíz cuadrada (Li, 1996):

$$x = \text{ARCSEN} \sqrt{n}$$

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 cuarta semana del ensayo (20 días, estado de 10 hojas verdaderas), y se manifestó inicialmente en las hojas mas 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.

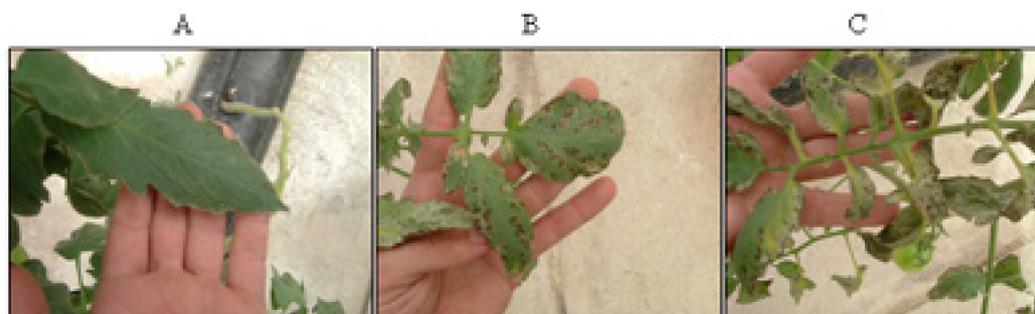


Figura 1. Nivel de daño por boro en hojas de tomate.

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

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 10).

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 resistente 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 éstos 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 $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, el efecto tóxico del boro se veía aminorado al ir aumentando su concentración hasta $8,0 \text{ mg L}^{-1}$. Similares resultados fueron reportados por Edelstein *et al.* (2005) trabajando con plantas de melón y CE de $1,8$ y $4,6 \text{ dS m}^{-1}$, 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).

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 11.

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

En el cuadro 11 se puede apreciar que al aumentar la concentración de boro en la solución nutritiva de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ a $7,1 \text{ mg L}^{-1}$, 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” (Figura 2).

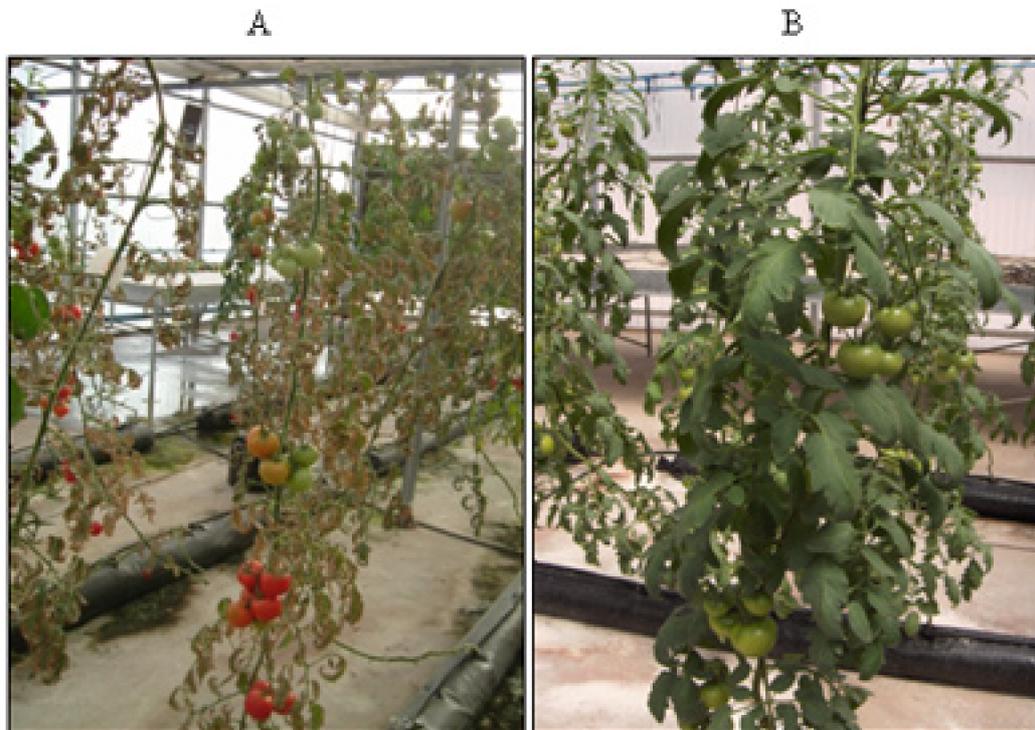


Figura 2. Planta de tomate regada con solución nutritiva con exceso de boro versus planta de tomate regada con solución nutritiva con niveles normales de boro.

A: planta regada con solución nutritiva con exceso de boro; B: planta regada con solución nutritiva con niveles normales de boro

Los resultados de los tratamientos T3 y T4 muestran que el rendimiento fue relativamente alto aún 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 $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ en la solución nutritiva.

Los resultados para rendimiento por racimo se muestran en la figura 3.

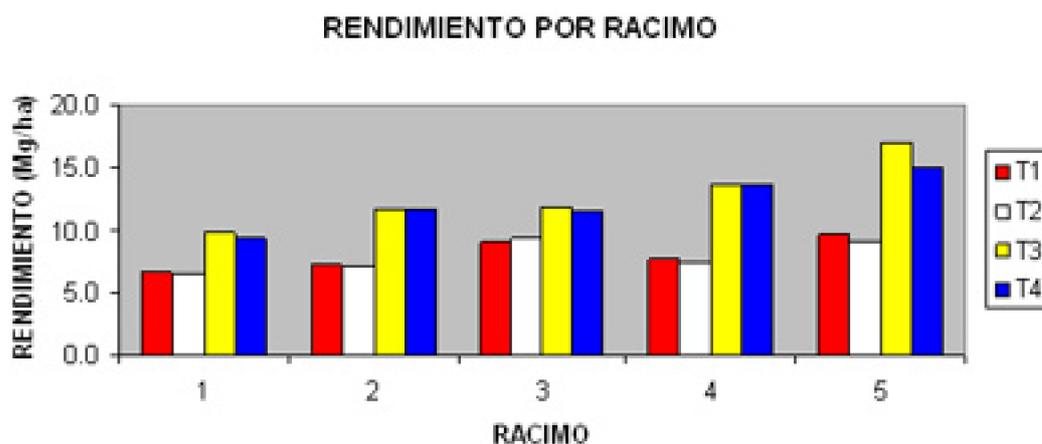


Figura 3. Rendimiento por racimo en cada tratamiento.

Estos resultados se asemejan a los presentados por Jensen y Malter (1995). Con estos rendimientos por racimo, es posible alcanzar la cifra presentada por ambos autores, quienes tuvieron rendimiento de $380 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con dos cultivos por año y una cosecha de 20 racimos por cultivo. Se ha informado que con monitoreo adecuado de la solución nutritiva y control climático de acuerdo a las necesidades diarias del cultivo, se pueden alcanzar rendimientos de hasta $700 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La clave para alcanzar estos rendimientos se encuentra en la producción anual continua, como la que se realiza en el sur de los Estados Unidos y en algunas localidades de Baja California, México (Cook y Calvin, 2005). Estas zonas presentan características climáticas similares a las del Valle de Lluta, en cuanto a radiación solar y temperaturas anuales.

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 rendimiento 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.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- ALPI, A.; TOGNONI, F. 1991. Cultivo en invernadero. 3º edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 347 p.
- 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-MURUA, 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.
- BRESLER, E.; McNEAL, B. L.; CARTER, D. L. 1982. Saline and sodic soils. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Alemania. 237 p.
- BROWN, P.H.; BELLALLOUI, 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.
- CONTROLLED ENVIRONMENT AGRICULTURE CENTER. 2000. Growing Hydroponic Tomatoes. Disponible en: <http://ag.arizona.edu/hydroponictomatoes/> (Visitado el 28

de Abril, 2005).

- COOK, R.; CALVIN, L. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of North American fresh tomato industry. Economic research report N° 2. United States Department of Agriculture. Economic Research Service. 81 p. Disponible en: www.ers.usda.gov (Visitado el 25/07/2006).
- DANNEL, 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
- DGA, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Lluta. Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Lluta.pdf (Visitado el 13/11/2006).
- 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.
- ESCAFF, M.; GIL, P.; FERREIRA, R.; ESTAY, P.; BRUNA, A.; MALDONADO, P.; BARRERA, C. 2005. Cultivo del tomate bajo invernadero. Boletín INIA – N°128. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Cruz, Chile. 84 p.
- 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.
- FURUKAWA, D. 2003. Seawater desalination: the right source at the right time. Disponible en: http://www.watercorporation.com.au/D/desalination_articles.cfm . Visitado el 13/11/2006
- GIACONI, V.; ESCAFF, M. 1995. Cultivo de hortalizas. 11° 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.
- HILLEL, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press. Londres, Inglaterra. 412 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.
- KOVDA, V.A. 1973. Quality of irrigation water. En: FAO. Irrigation, drainage and salinity. Hutchinson. Londres. pp 177-205.
- 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.
- LI, C. C. 1969. *Introducción a la estadística experimental*. Omega. Barcelona, España. 496 p.
- LITTLE, T. M. y HILLS, F. J. 1976. *Métodos estadísticos para la investigación en agricultura*. Trillas. México. 270 p.
- 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.
- PFEFFER, H.; DANIEL, F.; RÖMHELD, V. 1999. Are there to mechanisms for boron uptake in sunflower?. *Journal of plant physiology* 155: 34 - 40
- REID, C.E. 1966. Principles of Reverse Osmosis. *En*: MERTEN, U. Desalination by reverse osmosis. The Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, Estados Unidos de América. pp 1-14.
- SIEVEKA, E. H. 1966. Reverse osmosis pilot plants. *En*: MERTEN, U. Desalination by reverse osmosis. The Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, Estados Unidos de América. pp 239 - 270.
- SOTOMAYOR, E. 1995. Informe final proyecto FONDECYT 0134-92.
- 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.
- UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME) – INTERNATIONAL ENVIRONMENT TECHNOLOGY CENTRE. 1997. Source book of alternative technology for freshwater augmentation in Latin America and the Caribbean. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea59e/begin.htm#Contents> (Visitado el 13/11/2006)
- 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.

APÉNDICE I. REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA MÁXIMAS Y MÍNIMAS

CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) HIDROPÓNICO CON AGUA DESALINIZADA Y DESBORIFICADA EN EL VALLE DE LLUTA

Fecha	T° min (°C)	T° max (°C)	HR max (%)	HR min (%)
24/01/06	20	31	59	43
25/01/06	21	31	58	45
26/01/06	21	31	59	45
27/01/06	21	31	56	47
28/01/06	21	31	53	45
29/01/06	21	31	55	45
30/01/06	20	31	58	43
31/01/06	20	31	60	44
01/02/06	21	32	57	47
02/02/06	20	32	56	49
03/02/06	20	32	58	48
04/02/06	21	32	59	48
05/02/06	21	32	59	45
06/02/06	21	32	59	46
07/02/06	20	32	59	48
08/02/06	21	39	42	36
09/02/06	20	32	59	48
10/02/06	20	32	59	44
11/02/06	21	32	59	43
12/02/06	21	42	40	36
13/02/06	21	32	59	48
14/02/06	21	32	59	44
15/02/06	21	31	54	42
16/02/06	21	32	54	45
17/02/06	21	32	59	48
18/02/06	21	31	53	47
19/02/06	21	32	52	48
20/02/06	21	32	59	48
21/02/06	21	32	58	48
22/02/06	21	31	57	42
23/02/06	20	32	57	48
24/02/06	20	32	56	41
25/02/06	20	32	55	44
26/02/06	20	31	55	48
27/02/06	20	32	59	48
28/02/06	20	31	59	48
01/03/06	20	32	59	45
02/03/06	20	30	59	48
03/03/06	20	30	59	47
04/03/06	20	30	59	48
05/03/06	20	31	59	48
06/03/06	20	31	59	48
07/03/06	20	31	58	48
08/03/06	20	31	54	48

APÉNDICE I. REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA MÁXIMAS Y MÍNIMAS

09/03/06	20	31	57	43
10/03/06	20	31	54	44

CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) HIDROPÓNICO CON AGUA DESALINIZADA Y DESBORIFICADA EN EL VALLE DE LLUTA

Fecha	T° max (°C)	T° min (°C)	HR max (%)	HR min (%)
11/03/06	20	31	55	46
12/03/06	20	31	55	43
13/03/06	20	31	55	48
14/03/06	20	31	59	48
15/03/06	20	31	59	48
16/03/06	20	31	59	48
17/03/06	19	30	59	48
18/03/06	19	31	58	48
19/03/06	19	31	57	47
20/03/06	18	30	56	44
21/03/06	19	30	56	48
22/03/06	19	30	56	48
23/03/06	19	30	56	48
24/03/06	19	30	55	46
25/03/06	19	30	58	46
26/03/06	18	31	57	45
27/03/06	19	30	59	46
28/03/06	19	30	59	46
29/03/06	19	30	59	48
30/03/06	19	30	59	48
31/03/06	19	30	59	45
01/04/06	19	30	59	48
02/04/06	18	30	54	46
03/04/06	18	30	53	48
04/04/06	19	30	59	48
05/04/06	19	31	59	46
06/04/06	18	30	59	46
07/04/06	17	29	59	48
08/04/06	17	29	59	46
09/04/06	17	29	59	48
10/04/06	17	28	59	46
11/04/06	16	28	58	48
12/04/06	16	28	59	48
13/04/06	16	26	58	48
14/04/06	15	28	57	47
15/04/06	16	28	56	44
16/04/06	16	28	56	45
17/04/06	16	30	59	42
18/04/06	16	29	59	48
19/04/06	16	27	53	48
20/04/06	17	28	59	47
21/04/06	17	27	59	47
22/04/06	17	27	59	47
23/04/06	17	27	53	47

APÉNDICE I. REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA MÁXIMAS Y MÍNIMAS

24/04/06	17	28	54	47
25/04/06	15	28	59	48

Fecha	T° max (°C)	T° min (°C)	HR max (%)	HR min (%)
26/04/06	16	28	59	48
27/04/06	16	27	59	48
28/04/06	15	27	59	48
29/04/06	15	27	59	48
30/04/06	15	27	59	48
01/05/06	16	27	59	46
02/05/06	15	27	55	46
03/05/06	15	26	55	45
04/05/06	15	26	57	48
05/05/06	16	27	58	48
06/05/06	14	24	59	48
07/05/06	15	26	59	48
08/05/06	15	27	59	47
09/05/06	15	26	59	46
10/05/06	15	25	59	48
11/05/06	15	25	55	48
12/05/06	14	25	56	48
13/05/06	14	25	55	48
14/05/06	14	24	57	46
15/05/06	14	25	58	47
16/05/06	14	25	55	43
17/05/06	14	25	53	45
18/05/06	14	24	53	44
19/05/06	15	25	59	46
20/05/06	14	24	59	47
21/05/06	14	25	53	45
22/05/06	14	26	54	43
23/05/06	14	25	55	48
24/05/06	15	24	59	48
25/05/06	15	25	59	47
26/05/06	14	24	59	45