



Universidad de Almería
Escuela Superior de Ingeniería y Facultad de Ciencias Experimentales

Máster Oficial en Producción Vegetal en Cultivos Protegidos

Trabajo Fin de Máster

Efecto de la salinidad moderada, distribución del fertirriego y contribución de la termografía en un cultivo sin suelo de tomate injertado

Itinerario Investigador



Alumno: Isidro Morales García

Tutor: Dr. Miguel Urrestarazu Gavilán

Almería, España, Septiembre de 2013

Efecto de la salinidad moderada, distribución del fertirriego y contribución de la termografía en un cultivo sin suelo de tomate injertado

Effect of moderate salinity, fertigation distribution and contribution of thermography in grafted tomato soilless Crop under Soilless Culture

Isidro Morales y Miguel Urrestarazu

Departamento de Agronomía. Universidad de Almería, E-04120, Almería, España.

Resumen. La salinidad en el cultivo del tomate es uno de los parámetros más estudiados en la actualidad y desde hace décadas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un incremento moderado de la salinidad, distribución del fertirriego y su control por la termografía en un cultivo sin suelo de tomate injertado. Un cultivo de tomate injertado cv. Ramyle sobre portainjerto cv. Emperador se realizó en unidades de cultivo de fibra de coco en la Universidad de Almería entre los meses de noviembre 2012 a mayo de 2013. Se llevó a cabo bajo un diseño de parcelas subdivida con cuatro bloques, donde la salinidad de 2,0 y 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se ubicaban en las parcelas principales y la distribución de 1 (DD₁) y 4 (DD₄) puntos de suministro de la solución nutritiva en las subparcelas. Se midió la producción total, comercial y por calibres. También se evalúan parámetros de los frutos del tomate como sólidos totales solubles ($^{\circ}\text{Brix}$), pH, concentración osmótica y el contenido en materia seca. Para el control de la transpiración diferencial que ejercía la salinidad se utilizaron termografías. La diferencia de salinidad no afectó significativamente a la producción total ni comercial. Sin embargo y a pesar de ser plantas injertadas, cuando la CE de la solución nutritiva se aumenta de 2,0 a 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se produjo un significativo (a $P \leq 0,05$) y notable efecto sobre la distribución de los calibres de los frutos; registrándose una menor producción (16%) de frutos del tamaño grueso y una mayor producción de frutos del tamaño menor. DD₄ respecto a DD₁ aumentó significativamente la producción de tomates de calibre grueso (22%). Los parámetros de la calidad en los frutos no se vieron significativamente afectados. Por la mejora en el reparto del calibre de los tomates, la distribución DD₄ compensó económicamente el mayor gasto inicial que requiere en comparación al DD₁. La termografía reveló ser una herramienta robusta, sencilla y rápida de diagnosticar el efecto de la salinidad sobre la transpiración.

Palabra claves. Salinidad moderada, distribuidores de goteros, tomate injertado, termografía, termometría, métodos no destructivos, cultivo en fibra de coco, calidad de fruto.

Abstract. Salinity in the tomato crop is one of the most studied today and decades. The aim of this study was to evaluate the effect of a moderate increase in salinity, fertigation distribution and thermography control in soilless tomato grafted. A tomato crop cv Ramyle grafted on rootstock cv Emperador was made in units of coir culture at the University of Almería between the months of November 2012 to May 2013. Was carried out under a plot design with four blocks subdivided where salinity: 2,0 and 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ were located in the main plots and the distribution of 1 (DD₁) and 4 (DD₄) points supply of the nutrient solution in the subplots. Total measured, commercial and sizes. Parameters were also measured tomato fruits as total soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$), pH, osmotic concentration and dry matter content. For the differential transpiration control

exerted salinity was monitored by thermography. The difference in salinity did not significantly affect total production or trade. However, despite being grafted plants, when the EC of the nutrient solution is increased from 2,0 to 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ there was a significant ($P \leq 0,05$) and significant effect on the distribution of the sizes of the fruit; recorded lower production (16%) of fruits of coarse size and increased production of smaller fruit. DD1 DD4 regarding significantly increased tomato production heavy gauge (22%). Quality parameters in the fruits were not significantly affected. For the improvement in the distribution of the caliber of tomatoes, DD4 distribution offset the higher initial cost compared to DD1 required. Thermography revealed to be a robust, simple and quick to diagnose the effect of salinity on transpiration.

Additional index words. moderate salinity, distribution nutrient solution, grafting, size tomato, thermography, non-invasive method, coir substrate, quality fruit.

Introducción

La salinidad es uno de los factores más influyentes y estudiado en la horticultura protegida. El efecto negativo de la presión osmótica creciente desde un óptimo, tanto en el medio de cultivo como la solución nutritiva, se ha estudiado desde muy antiguo. Adecuar el manejo del fertirriego y la salinidad (expresada esta como composición iónica de la solución nutritiva), a las condiciones de producción es un factor altamente influyente en el balance económico, pero también un importante factor para controlar las emisiones de contaminantes al medio ambiente (Massa et al., 2010; Urrestarazu et al., 2008a). Desde los años 30s y 40s. (E.g. Hayward y Long, 1943; Robbins, 1937) hasta la actualidad (E.g. Adams, 1991; Adams y Ho, 1989; Cuartero y Fernández-Muñoz, 1998; Ehret y Ho. 1986; He et al., 2009; Ho y Adams, 1995; Noshadi et al., 2013; Urrestarazu et al., 2005) se ha descrito dos claros efecto al aumentar la salinidad: 1. La pérdida de productividad y 2) el incremento de algunos de los parámetros considerados de calidad en los frutos (E.g. Sólidos totales solubles, contenido en materia seca, acidez, peso medio de cada fruto, concentración iónica, etc.). Para determinar y cuantificar las pérdidas de producción por el aumento de la presión osmótica radical se han descrito diversos algoritmos desde los años 70s (E.g. Hoffman, 1985; Jobs et al., 1981; Maas y Hoffman, 1977). Actualmente han sido modificado y adaptado considerando la salinidad desde 0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ mediante un ajuste cuadrático (Sonneveld, 2004a, 2004b, Sonneveld y Vooght, 2009), estos modelos se han utilizado ampliamente para describir y prever la producción en función de unas condiciones determinadas de salinidad. La gran mayoría de la información disponible en la bibliografía se publica bajo unas grandes diferencias de salinidad en los tratamientos; sin embargo, son pocos los trabajos que evalúan los efectos usando ligeros incrementos de salinidades.

La distribución no uniforme de los nutrientes en el medio de cultivo provoca un significativo efecto en las raíces de las plantas (E.g. Robinson, 1994; Schwarz et al., 1995). Desde los trabajos de Heinen (1997), Van Noordwijk (1978) y Van Noordwijk y Raats (1980, 1981), se han elaborado modelos para determinar la importancia de los puntos de distribución del fertirriego y la ubicación de los puntos de drenaje en las unidades de contenedores de cultivo, pero son muy pocos los trabajos que evalúan los beneficios de la producción como los económicos por una mejor distribución de la solución nutritiva con similares costes de la infraestructura de riego localizado: goteros y sus distribuidores.

Las termografía se están utilizando en todas las ramas del conocimiento científico y tecnológico (Grinzato et al., 2010). Recientemente, se han publicado estudios de aplicación de la termografía a los cultivos sin suelo en relación al fertirriego (Fernández-Bregón et al., 2013), o relacionado con la salinidad del fertirriego (Urrestarazu, 2013).

El objetivo de este trabajo fue doble: 1) evaluar el efecto de una moderada salinidad y el tipo de distribución del fertirriego sobre un cultivo de tomate, y 2) el potencial de las termografías como herramienta de diagnóstico en el efecto de la salinidad moderada expresada a través de la transpiración de las plantas.

Materiales y Métodos

Condiciones de cultivo.

El cultivo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad de Almería (Spain), en un invernadero de plástico de 200 micras de grosor. Se plantaron plántulas injertadas en el estadio de 6 y 7 hojas verdaderas el día 9 de noviembre de 2012. Se usó el portainjerto cv. Emperador F1 y el injerto cv. Ramyle F1. El manejo cultural se hizo a dos brazos y siguiendo métodos comúnmente utilizado en la zona de cultivo. El periodo de cosecha se extendió desde 14 de marzo al 15 de mayo de 2013.

Para cada tratamiento se establecían dos ubicaciones de control del fertirriego, consistentes en un gotero de control y una bandeja de drenaje que servían de puntos de medida y seguimiento del fertirriego suministrado y la respuesta de absorción del mismo. Diariamente se medía en ellos, el volumen de la solución nutritiva, pH y CE del fertirriego de entrada y del drenaje. Estos datos retroalimenta la programación del fertirriego suministrado.

Cada nuevo riego se realizaba cuando se había agotado el 10 % de agua fácilmente disponible en el sustrato, más el volumen necesario para provocar entre un 15-25% de drenaje (Urrestarazu, 2004; Urrestarazu et al., 2005; Urrestarazu et al., 2008b). La duración de cada riego se aplicó ajustando el volumen a suministrar a cada unidad de cultivo, en función de la curva de liberación de agua obtenida (Figura 1). Para obtener la curva de liberación de agua del sustrato de fibra de coco utilizado se calcularon los volúmenes (vol:vol): Porosidad total, volumen de aire (capacidad de aireación), agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible (UNE-EN-13041:2012, 2012). El análisis físico del sustrato se realizó por triplicado. La unidad de cultivo fue un saco de fibra de coco Pelemix GB1002410TM de dimensiones 100 x 25 x 10 cm, con un volumen en cultivo de 25 L.

Tratamientos aplicados

Dos fuentes de variación fueron consideradas. La primera es la salinidad de la solución nutritiva a CE de 2.0 y 2.5 dS·m⁻¹, respectivamente. La solución nutritiva se realizó con soluciones concentradas de los macronutrientes en las proporciones indicadas en la tabla 1. La segunda fuente de variación fue el número de puntos de emisión de la disolución nutritiva con 1 (DD₁) o 4 (DD₄) microtubos distribuidores por goteros. Cada microtubo distribuidor es de 4 mm de diámetro y de 60 cm de longitud. La distribución de las 3 o 12 piquetas o estabilizadores se repartía uniformemente por la unidad de cultivo.

Muestreo en el cosechado

El cosechado de los tomates individuales se realizaba en el estado de madurez en rojo uniforme cada semana. Se calibraban en función de la categoría comercial vigente de frutos según su diámetro ecuatorial (Reglamento CE 717/2001, 2001). La producción de cada calibre se agrupan durante todo el cultivo y los valores medios se muestran en la tabla 2. De cada cosecha se realizaba una submuestra de tres frutos de tomate con los que se realizaba un homogeneizado y se medían el pH, la CE y los sólidos solubles totales (Expresados como grados Brix) fueron medidos con un refractómetro de Mano Digital-Atago PAL-1. La materia seca se obtuvo pesando el peso fresco de tres tomates con una precisión de centésima de gramo, una vez desecado en una estufa de aire forzado a 85° C durante 72 horas.

Muestreo y análisis de las termografías

En plena producción del cultivo de tomate se tomaron tres termografías para cada tratamiento de CE (Figura 2). Se muestreaba la octava hoja desde el final de la planta (Figura 2). Se medían la temperaturas medias de una superficie de entre 3 y 5 cm² de cada foliolo de las hojas, siguiendo el procedimiento descrito por Fernández-Bregón et al. (2013) y Urrestarazu (2013). Las termografías fueron realizadas el mismo día y a mediodía siguiendo los criterios de Fernández-Bregón et al. (2013) y Möller et al. (2007).

Las imágenes termográficas fueron obtenidas con una cámara infrarroja Fluke® Ti32 Thermal Imaging Scanner (Janesville, WI, USA), con un intervalo de medida del espectro infrarrojo de 7,3 a 13 μm, y un intervalo de temperatura de -40 a +600 °C. El detector permite una resolución de 320 x 240 píxeles, con una mínima distancia focal de 0,3 m, y con una resolución espacial de 0,01 °C. El tratamiento de las imágenes térmicas se analizó por el *software* SmartView 3.2™ Researcher Pro (Fluke Thermography, Plymouth, MN, USA) que permite la determinación de temperaturas medias máximas y mínimas de una determinada superficie considerada.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se hizo bajo un diseño de parcelas completas subdivididas (Little y Hill, 1987; Petersen, 1994). La parcela principal se realiza con la fuente de variación de la salinidad (CE). La parcela secundaria o sub-parcela fue la distribución de fertirriego desde el gotero (DD₁ y DD₄). El número de bloques de parcela y sub-parcela fue de 4. Se realizó un análisis de la varianza y la correspondiente separación de medias. El tratamiento matemático de los datos se realizó mediante el programa Statgraphics Centurion® 16.1.15 y Office Microsoft 2010. La unidad experimental consistía en tres sacos de cultivo. Cada saco de cultivo contenía tres plantas fertirregado con tres goteros de 3 L h⁻¹ de caudal nominal. Para la separación de medias de los datos de temperatura de las termografías se utilizó una prueba simple de *t* de Student.

Resultados y discusión

Efecto sobre la producción total

La tabla 2 muestra los datos de los tratamientos por producción total, comercial y por calibres. En la producción total y total comercial no se observaron diferencias significativas tanto para los tratamientos de salinidad como los de distribución de la solución nutritiva (DD). No se expresó una mayor producción en el tratamiento menos salino (CE₂) respecto al de mayor salinidad (CE_{2,5}) descrita en la bibliografía (E.g.

Hoffman, 1985; Jobes et al., 1981; Maas y Hoffman, 1977; Sonneveld, 2004a; Sonneveld y Vooght, 2009).

Es bien conocido que el uso del injerto contribuye a un mayor vigor de la planta y a una mayor tolerancia a las enfermedades (Miguel et al., 2004), salinidad y estrés hídricos (E.g. Lee, 1994; Fernández-García et al., 2002; Lee y Oda, 2003; Schwarz et al., 2010). Por tanto, al estar el cultivo de tomate injertado, probablemente influyó en evitar la pérdida de la producción total.

Efecto sobre la distribución de los calibres de los frutos

Los diferentes calibres de los frutos de tomate se vieron significativamente afectados tanto por la salinidad como por la distribución de la solución nutritiva (DD) (Figura 3). La CE menor (CE₂) produjo una significativa (a $P \leq 0,05$) mayor proporción de los frutos del calibre de mayor tamaño (Calibre MM, 16%) y una menor proporción del calibre P (5%) y el calibre no comercial (34%). Como los calibres de mayor tamaño suelen tener un mayor valor comercial, significa que un aumento de la CE de 2 a 2,5 dS·m⁻¹ supone una pérdida de producción. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en un amplio número de referencias en donde un aumento de la salinidad provoca una reducción del peso medio del fruto (E.g. Hayward y Long, 1943; Ho y Adams, 1995).

De forma similar, el incremento de puntos de distribución de la solución nutritiva de 1 (DD₁) a 4 (DD₄), produjo una variación en el reparto de los calibres de los frutos de tomate. Los calibres gruesos M y MM aumentaron significativamente (a $P \leq 0,05$) en una media de 30 y 13%, respectivamente; mientras que también disminuyeron los calibres pequeños MMM y P en un 16 y 11%, respectivamente. Consecuentemente, una mejor distribución del fertirriego en la unidad de cultivo mejoró la producción, como ocurría con el tratamiento menos salino. Estos resultados son similares a los publicados por autores como Robinson (1994) quien determina mejoras productivas cuando se distribuye adecuadamente los nutrientes. También, los trabajos de Sonneveld y Vooght (1990) en tomate y Sonneveld y de Kreij (1999) en pepino, que aunque no aumentan el número de puntos de distribución del fertirriego sino que lo distribuyen desigualmente por la unidad de cultivo, obtienen resultados de mejora de la producción.

El hecho de usar plantas injertadas no evitó que se produjese una pérdida de los calibres gruesos a favor de los calibres menores. Por tanto el vigor descrito para las plantas injertadas no se expresó positivamente en la distribución de calibres.

Efecto sobre los parámetros de calidad de la producción

La tabla 3 muestra algunos parámetros de calidad de los frutos de tomate. Los diferentes tratamientos no mostraron diferencias significativas en los parámetros de calidad de fruta evaluados, excepto los sólidos totales solubles en los tratamientos que disminuyeron al aumentar la distribución. Ante un incremento de la salinidad se ha descrito un importante aumento de los parámetros: % de materia seca, acidez, sólidos totales solubles (°Brix) y concentración osmótica del fruto (E.g. Hayward y Long, 1943), sin embargo en este experimento no se observó dicho incremento de forma significativa probablemente debido a: 1) el escaso incremento de la CE que fue considerado, 2) al comportamiento tolerante del cultivo del tomate en comparación a otros cultivos hortícolas, que ya se describió desde muy antiguo (E.g. Maas y Hoffman, 1977), y 3) a la potencial contribución del vigor que otorga el portainjerto a la salinidad (Lee y Oda, 2003). El mayor estrés que provocó un peor reparto del fertirriego (DD₁ frente a DD₄), pudo justificar que sean mayores los sólidos totales solubles. Estos resultados coinciden con la idea sugerida por la reciente revisión que realizan Rouphael et al. (2010) sobre el efecto del injerto de las hortalizas de fruto, quienes indican que

aún hace falta una notable investigación para tener un conocimiento del papel que los injertos ejercen en la calidad de los frutos.

Efecto sobre el balance económico

La tabla 4 muestra el balance económico parcial referente a los gastos de inversión que se requieren en función de la opción DD₁ respecto a la DD₄. Se consideran solo los ingresos de los calibre gruesos que son aquellos que tienen un mayor valor comercial. Con el valor diferencial de un sólo cultivo de tomate del año (0,30 €·m⁻²·cultivo⁻¹) se habría compensado la mayor inversión inicial (de 0,45 €·m⁻²·año⁻¹) que representa la opción DD₄ respecto a la DD₁. La tabla 5 muestra el balance económico parcial respecto al gasto económico que supone fertirregar con una solución media de CE de 2,0 dS·m⁻¹ respecto a hacerlo con una de 2,5 dS·m⁻¹. Estos resultados muestran una pérdida de un ingreso del agricultor de 0,41 €·m⁻² (8,5%), con una mayor proporción de gastos en fertilizantes (0,41 €·m⁻²) si se fertirriga con la opción CE_{2,5}. Consecuentemente, por el valor de los fertilizantes y el valor de los tomates en función de su calibre, se obtiene un valor de 0,82 €·m⁻² más de la opción CE₂ frente a la CE_{2,5}. Sin embargo, el agricultor a veces elige esta desventajosa opción por alguna de estas razones: 1) mantener un índice de cosecha adecuado por un moderado estrés salino (manteniendo un adecuado equilibrio entre la proporción fase vegetativa y la fase reproductivas del tomate), 2) evitar la mayor susceptibilidad a los problemas fitosanitarios, 3) aumentar la vida media poscosecha (Mizrahi, 1982; Mizrahi et al., 1988); y/o 4) aumentar o mejorar de los parámetros de calidad (Sólidos totales solubles, acidez, aumento de productos que potencian el sabor o nutrientes beneficiosos para la salud, etc.), (Cuartero et al., 1996; Sharaf y Hobson, 1986; Roupael et al., 2010).

En ambas condiciones, ya se elija DD₁ frente a DD₄ o/y CE_{2,5} frente a CE₂, se produce una pérdida económica para el agricultor; la proporción de esta pérdida dependerá en ambos casos de la diferencia del valor del mercado de los calibres gruesos en comparación a los calibres pequeños (Ho y Adams, 1995); siendo esta diferencia en general mayor en los mercados norteamericanos respecto a los europeos. Sin embargo, pese a provocar una pérdida económica sustancial, en las fincas comerciales la opción de CE_{2,5} frente a CE₂ es una práctica muy habitual.

Papel de las termografía

Las temperaturas medias de las hojas de los tratamientos de las CEs de la solución nutritiva suministrada se muestran en la figura 4. Aunque existían unas diferencias muy escasa de temperaturas, menos de 1 °C (≈2%), las menores temperaturas registradas estuvieron relacionadas con el tratamiento de menor CE de forma muy altamente significativa (a $P \leq 0,001$). Esta correlación fue muy similar a la encontrada por Oerke et al. (2006) en melón o en plantas ornamentales por Urrestarazu (2013). Por tanto, las termografía adecuadamente manejada pueden resultar una herramienta sencilla, rústica, no destructiva y de uso remoto útil para diagnosticar un factor limitante de una escasa transpiración en un posible estrés salino o hídrico. Consecuentemente puede estar incorporada a una red de visión telemática de control y seguimiento de un cultivo hortícola como ha sido publicado por diversos como Álvaro et al. (2011) o Fernández-Bregón et al. (2012).

Conclusión

Un moderado aumento de la salinidad no ejerce un importante efecto sobre la producción en un cultivo de tomate injertado ni sobre los parámetros de calidad de los frutos (sólidos totales solubles, contenido en peso seco o concentración osmótico del jugo del tomate). Sin embargo, su efecto se expresa de una forma notable en el reparto de los calibres. Disminuyendo significativamente los calibres más gruesos en un 14% frente a los menores.

Una mejor distribución de la solución nutritiva sobre la unidad de cultivo no mejora el rendimiento ni los parámetros de calidad de los frutos (sólidos solubles totales, contenido en peso seco o concentración osmótica del jugo del tomate). Pero mejora sustancialmente el porcentaje de frutos de mayor calibre en más de un 20%.

La mejora de la distribución y la moderada salinidad óptima (2,0 sobre 2,5 dS·m⁻¹) de la solución nutritiva incrementa la rentabilidad del cultivo cuando los frutos de calibre más grueso tienen un mayor valor comercial.

El uso de injerto pudo compensar la pérdida potencial de producción al empeorar las condiciones de moderada salinidad y/o el peor reparto del fertirriego en la unidad de cultivo, pero no impidió una pérdida de los calibres de mayor tamaño.

La termografía podría constituir una herramienta robusta, rápida, no destructiva y de uso remoto para diagnosticar una salinidad moderada.

Literatura citada

- Adams, P. 1991. Effects of increasing the salinity of nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in Rockwool. *J. Hort. Sci.* 66:201-207.
- Adams, P., y L.C. Ho. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hort. Sci.* 64:725-732.
- Álvaro, J.E. D.L.Valera, y M. Urrestarazu. 2011. Nuevas herramienta de control y diagnóstico mediante cámaras multiespectrales en la horticultura protegida, *Agrícola vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura* 30:399-401.
- Cuartero, J., J. Baena., T. Soria, y R. Fernández-Muñoz. 1996. Evolución de la dureza del fruto del tomate, como un componente de la calidad, en cultivares de larga duración y normales cultivados en 5 concentraciones salinas. *Actas de Horticultura.* 13:59-65.
- Cuartero, J., y R. Fernández-Muñoz. 1998. Tomato and salinity. *Scientia Hort.* 78:83-125.
- De Boodt, M., O. Verdonck, y I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37:2054-62.
- Ehret, D.L., y L.C. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hort. Sci.* 61:361-367.
- Fernández-Bregón, N., D. Valera, y M. Urrestarazu. 2013. Uniformity of fertigation as diagnosed by infrared thermography under soilless culture. *J. Food Agr. and Environ.* 11:981-984
- Fernández-Bregón, N., M. Urrestarazu, y D. Valera. 2012. Algunos usos de la visión artificial y su aplicación en la horticultura protegida. *Vida rural* 343:46-48

- Fernández-García, N., V. Martínez., A. Cerda, y M. Carvajal. 2002. Water and nutrient uptake of grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Plant Physiol.* 159:899-905.
- Frutas y hortalizas de Almería. 2013. Revista Frutas y hortalizas de Almería. 06 agosto 2013. <<http://www.fhalmeria.com/subastas.aspx><.
- Grinzato, E., G. Cadelano, y P. Bison. 2010. Moisture map by IR thermography. *J. Mod. Optics* 57:1770–78.
- Hayward, H.E., y E.M. Long. 1943. Some effects of sodium salts on the growth of the tomato. *Plant Physiol.* 18:556–569.
- He, Y., Z. Zhu., J. Yang., X. Ni and Zhu B. 2009. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environ. Exp. Bot.* 66:270-278
- Heinen, M. 1997. Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture. With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds. PhD Thesis Wageningen Agricultural University. ISBN 90-5485-667-X. 270 p.
- Ho, L.C. y P. Adams. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. *Act a Hort.* 396:33-44.
- Hoffman, G.J. 1985. Drainage required to manage salinity. *J. Irrig. Drain. Eng.* 111:199-206.
- Jobes, J.A., G.J. Hoffman, y J.D. Wood. 1981. Leaching requirement for salinity control II. Oat, Tomato, and cauliflower. *Ag r. Water Manage* 4:393-407.
- Lee, J.M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience* 29:235–239
- Lee, J.M., y M. Oda. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hort. Rev.* 28:61-124.
- Little, T.M., y F.J. Hills. 1975. *Statistical Methods for Agricultural Research*. New York: John Wiley and Sons. 242 p.
- Mass, E.V., y G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-Current assessment. *J. Irr. Drain Div. Amer. Soc. Chem. Eng.* 103:115-134.
- Massa, D., L. Incrocci., R. Maggini., G. Carmassi., C.A. Campiotti, y A. Pardossi. 2010. Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Agr. Water Manage.* 97:971–980.
- Miguel, A., J.V. Maroto., A. San Bautista., C. Baixauli., V. Cebolla., B. Pascual., S. López-Galarza, y J.L. Guardiola. 2004. The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of Fusarium wilt. *Scientia. Hort.* 103:9–17.
- Mizrahi, Y. 1982. Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiol.* 69:966-970.
- Mizrahi, Y., E. Taleisnik., V. Kagan-Zur., Y. Zohas., R. Offenbach., E. Matan, y R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Am. Soc. Horti. Sci.* 113:202-205.
- Möller, M. V. Alchanatis., Y. Cohen., M. Meron., J. Tsipris., A. Naor., V. Ostrovsky, y S. Cohen. 2007. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *J. Expt. Bot.* 58:827–838.

- Noshadi, M., S. Fahandej., A. R. Sepaskhah. 2013. Effects of salinity and irrigation water management on soil and tomato in drip irrigation. *International Journal of Plant Production* 7:295-312
- Oerke, E.C., U. Steiner., H.W. Dehne, y M. Lindenthal. 2006. Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. *J. Expt. Bot.* 57:2121–32.
- Petersen, R.G. 1994. *Agricultural Field Experiments*. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 409 p.
- Reglamento CE 717/2001, 2001. L 95/24 ES Diario Oficial de las Comunidades Europeas 15.4.2000. REGLAMENTO (CE) No 790/2000 DE LA COMISIÓN de 14 de abril de 2000 por el que se establecen las normas de comercialización de los tomates. 10 agosto 2013. <<http://www.boe.es/doue/2000/095/L00024-00029.pdf>>
- Robbins, W.R. 1937. Relation of nutrient salt concentration to growth of the tomato and to the incidence of blossom en rot of the fruit. *Plant Physiol.* 12:21-50
- Robinson, D. 1994. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytol.* 127:635-674.
- Rouphael, Y., D. Schwarz., A. Krumbein, y G. Colla. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Hort.* 127:172-179.
- Schwarz, D., M. Heinen, y M. van Noordwijk. 1995. Rooting intensity and root distribution of lettuce grown in sand beds. *Plant and Soil* 176:205-217.
- Schwarz, D., Y. Rouphael., G. Colla, y J.H. Venema. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Hort.* 127:162–171.
- Sharaf, A.R., y G.E. Hobson. 1986. Effect of salinity on the yield and quality of normal and nonripening mutant tomatoes. *Acta Hort.* 190:175-181.
- Sonneveld, C. 2004a. La nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo: su manejo. En; *Tratado de cultivo sin suelo*. Ed. M. Urrestarazu, p. 305-367. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. España.
- Sonneveld, C. 2004b. Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. PhD Thesis Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 150 p.
- Sonneveld, C. and C. de Kreij. 1999. Response of cucumber (*Cucumis sativus L.*) to an unequal distribution of salts in the root environment. *Plant and Soil* 209:47-56.
- Sonneveld, C. and N. Straver. 1994. *Nutrient Solutions for Vegetables and Flower Grow in Water or Substrates*, tenth ed. Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk, Naaldwijk, The Netherlands. 45 p.
- Sonneveld, C, and W. Voogt. 1990. Response of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) to an unequal distribution of nutrients in the root environment. *Plant and Soil* 124:251-256.
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Dordrecht, the Netherlands: Springer. 431 p.
- Statistical Graphics Corp., 1999. *Statgraphics Centurion®*. Statistical Graphics Corp., Rockville, MD.
- UNE-EN 13041:2012. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de las propiedades físicas. Densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total. Madrid. 10 agosto 2013. <<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0049336&pdf=#.UgkKNJlvn9U>>.
- Urrestarazu, M. 2004. *Tratado de cultivo sin suelo*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 914 p.

- Urrestarazu, M. 2013. Infrared thermography used to diagnose the effects of salinity in a soilless culture. *Quantitative InfraRed Thermography* 10:1–8.
- Urrestarazu, M., C. Guillén., P.C. Mazuela, and G. Carrasco. 2008b. Wetting agent effect on physical properties of new and reused rockwool and coconut coir waste. *Scientia Hort.* 116:104-108.
- Urrestarazu, M., G.A. Martínez., and M.C. Salas. 2005. Almond shell waste: possible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Scientia Hort.* 103:453-460.
- Urrestarazu, M., M.C. Salas., D. Valera, A. Gómez, and P.C. Mazuela. 2008a. Effects of heating nutrient solution on water and mineral uptake and early yield of two cucurbits under soilless culture. *J. Plant Nutr.* 31:527-538.
- Urrestarazu, M., L. Borges., S. Burés, and J.E. Álvaro. 2013. Response of Lime Thyme to Salinity and Ionic Concentration in Nutrient Solution. *J. Plant Nutr.* 36:562-565.
- Van Noordwijk, M. 1978. Zout ophoping en beworteling bij de teelt van tomaten op steenwol (in Dutch , with a summary: Distribution of salts and root development in the culture of tomatoes on rock wool). Rapport 3-78, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, The Netherlands, 21 p.
- Van Noordwijk, M. and P.A.C. Raats. 1980. Drip and drainage systems for rockwool cultures in relation to accumulation and leaching of salts. *Proceedings Fifth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, The Netherlands*, p. 279-287.
- Van Noordwijk, M. and P.A.C. Raats. 1981. Zoutophoping en -uitspoeling in samenhang met het druppelsysteem bij de teelt op steenwol (in Dutch, with a summary: The influence of the drip system upon accumulation and leaching of salts in rockwool cultures). Rapport 9-81, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, The Netherlands, 37 p.

Tablas

Tabla 1. Soluciones nutritivas utilizadas en el cultivo de tomate.

| CE dS m ⁻¹ | pH | Macronutrientes Mm | | | | | | Micronutrientes µM | | | | | |
|--------------------------|------|------------------------------|--|-------------------------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|----|------|----|----|-----|
| | | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Fe | Mn | Cu | Zn | B | Mo |
| 2,00 ^(z) | 5,80 | 10,25 | 1,50 | 1,75 | 4,75 | 5,00 | 1,51 | 15 | 10 | 0,75 | 5 | 30 | 0,5 |
| 2,50 | 5,80 | 12,81 | 1,88 | 2,19 | 5,95 | 6,25 | 1,89 | 15 | 10 | 0,75 | 5 | 30 | 0,5 |

^(z) Basada en Sonneveld y Straver (1994).

Tabla 2. Producción (kg·m⁻²) total y por calibres de un cultivo de tomate con diferentes conductividades eléctrica (CE) de la solución nutritiva y suministro del fertirriego con 1 y 4 puntos de distribución por gotero.

| Calibre ^(z) | CE=2,0 dS·m ⁻¹ | | CE=2,5 dS·m ⁻¹ | |
|------------------------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|
| | Nº de distribuidores por gotero | | Nº de distribuidores por gotero | |
| | 1 | 4 | 1 | 4 |
| M (57-67 mm) | 0,65 b | 1,03 a | 0,91 ab | 1,01 a |
| MM (47-57 mm) | 3,69 ab | 4,18 a | 3,10 b | 3,50 ab |
| MMM (40-47 mm) | 2,03 a | 1,70 bc | 1,94 ab | 1,65 c |
| P (35-40 mm) | 1,83 a | 1,50 c | 1,76 ab | 1,71 b |
| No comercial (< 35 mm) | 0,75 c | 0,82 bc | 0,97 b | 1,12 a |
| Total comercial | 8,20 a | 8,22 a | 7,72 a | 7,87 a |
| Total | 8,96 a | 9,05 a | 8,69 a | 9,00 a |

Letras distintas entre columnas indican diferencias significativas a $P \leq 0,05$.

(z) Fuente: Reglamento CE 717/2001 (2001).

Tabla 3. Algunos parámetros de los frutos de tomate con diferentes conductividades eléctrica (CE) de la solución nutritiva y suministro del fertirriego con 1 y 4 puntos de distribución por gotero.

| | CE dS·m ⁻¹ | | Nº de distribuidores por gotero | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------|---------------------------------|---------|
| | 2,0 | 2,5 | 1 | 4 |
| pH | 4,21 | 4,27 ns | 4,24 | 4,24 ns |
| CE | 4,38 | 4,44 ns | 4,43 | 4,39 ns |
| Sólidos solubles totales (° Brix) | 4,92 | 5,08 ns | 5,11 | 4,89 * |
| Materia seca (%) | 7,08 | 7,25 ns | 7,20 | 7,13 ns |

* indican diferencias significativas entre tratamientos a $P \leq 0,05$, ns= no significativo.

Tabla 4. Balance económico en función del uso de 1 (DD₁) o 4 (DD₄) distribuidores por cada gotero en un cultivo de tomate injertado en sacos de fibra de coco, considerando solo las producciones y los ingresos de los tomates de calibre más grueso (De M a MMM).

| Calibres ^(x) | Rendimiento | | Precio goteros ^(z) | | Precio del tomate ^(y) €·kg ⁻¹ | Ingresos | |
|--|---|-----------------|--------------------------------------|-----------------|--|--|-----------------|
| | kg·m ⁻² ·cultivo ⁻¹ | | €·m ⁻² ·año ⁻¹ | | | €·m ⁻² ·cultivo ⁻¹ | |
| | DD ₁ | DD ₄ | DD ₁ | DD ₄ | | DD ₁ | DD ₄ |
| M (57-67 mm) | 0,78 | 1,03 | 0,12 | 0,42 | 1,12 | 0,87 | 1,15 |
| MM (47-57 mm) | 3,40 | 3,84 | 0,12 | 0,42 | 0,81 | 2,75 | 3,11 |
| MMM (40-47 mm) | 1,99 | 1,68 | 0,12 | 0,42 | 0,60 | 1,19 | 1,01 |
| Total | 6,17 | 6,55 | | | | 4,82 | 5,27 |
| Diferencia DD ₄ – DD ₁ | | 0,38 | | 0,30 | | | 0,45 |

^(z) Basado en precios medios de dos casas comerciales y la media de reposición de goteros prescrita (10 años).

^(y) Basado en precios medios que recibe el agricultor en las cooperativas agrícolas en las mismas fechas de cultivo. Fuente: Frutas y hortalizas de Almería (2013).

^(x) Fuente: Reglamento CE 717/2001 (2001).

Tabla 5. Balance económico en función del uso de la solución nutritiva (NS) con CE de 2,0 (CE₂) y 2,5 dS·m⁻¹ (CE_{2,5}) en cultivo de tomate injertado en sacos de fibra de coco, considerando solo las producciones y los ingresos de los tomates de calibre más grueso (De M a MMM).

| Calibres ^(x) | Rendimiento | | Precio NS ^(z) | | Precio del tomate ^(y) €·kg ⁻¹ | Ingresos | |
|---|--|-------------------|--|-------------------|--|--|-------------------|
| | kg m ⁻² cultivo ⁻¹ | | €·m ⁻² ·cultivo ⁻¹ | | | €·m ⁻² ·cultivo ⁻¹ | |
| | CE ₂ | CE _{2,5} | CE ₂ | CE _{2,5} | | CE ₂ | CE _{2,5} |
| M (57-67 mm) | 0,84 | 0,96 | 0,69 | 1,10 | 1,12 | 0,94 | 1,08 |
| MM (47-57 mm) | 3,93 | 3,30 | 0,69 | 1,10 | 0,81 | 3,18 | 2,67 |
| MMM (40-47 mm) | 1,86 | 1,79 | 0,69 | 1,10 | 0,60 | 1,11 | 1,07 |
| Total | 6,63 | 6,05 | | | | 5,23 | 4,82 |
| Diferencia CE ₂ –CE _{2,5} | | -0,58 | | -0,41 | | | -0,41 |

^(z) Basado en los precios de cada litro de solución nutritiva y el volumen del ciclo de cultivo utilizado.

^(y) Basado en precios medios que recibe el agricultor en las cooperativas agrícolas en las mismas fechas de cultivo y en la misma zona. Fuente: Frutas y hortalizas de Almería (2013).

^(x) Fuente: Reglamento CE 717/2001, (2001).

Figuras

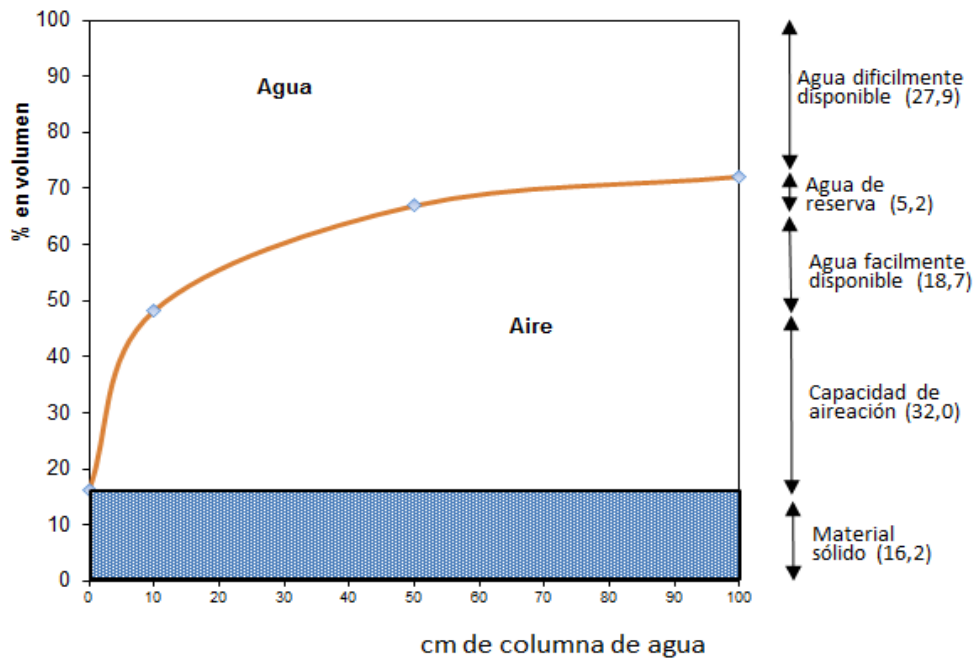


Figura 1. Curva de liberación de agua desde la fibra de coco en función de la tensión retención del sustrato en cm de columna de agua (Basado en De Boodt et al., 1974).

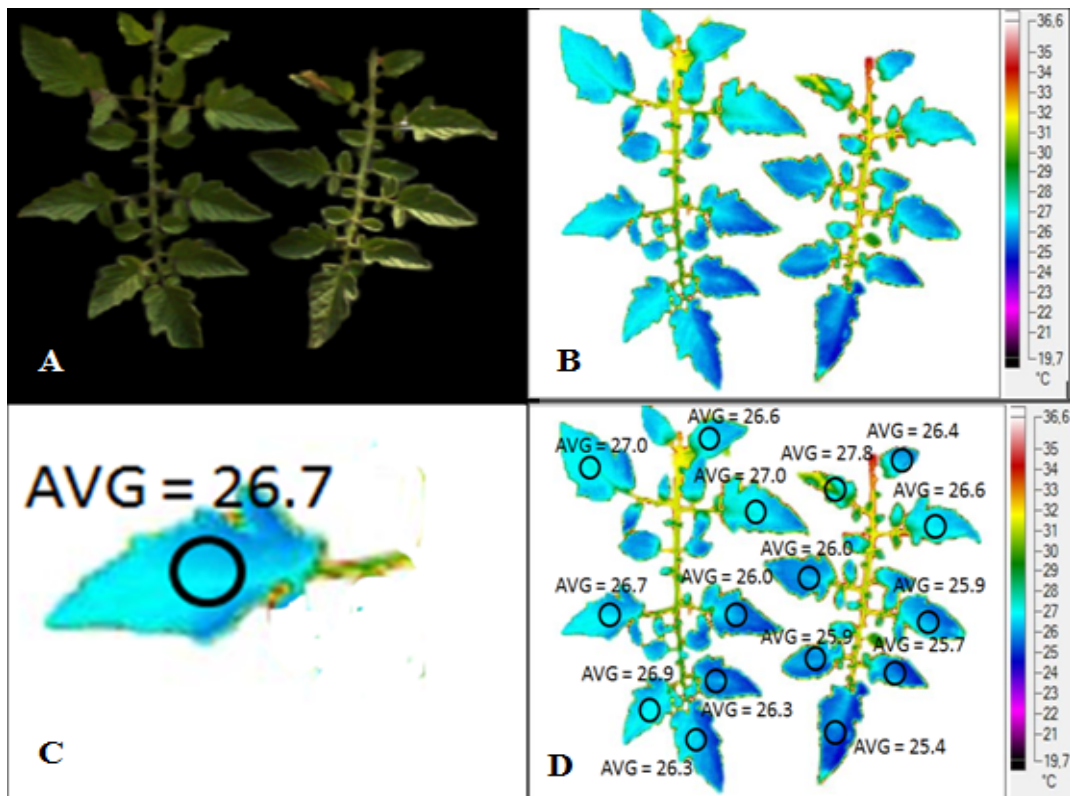


Figura 2. A es la fotografía de referencia de dos hojas de tomate de los tratamientos de salinidad, $CE_{2,0}$ y $CE_{2,5}$ son las CE de 2,0 y 2,5 $dS \cdot m^{-1}$, respectivamente. B es una termografía de las hojas. C es un detalle del método de medida de la temperatura en un foliolo de la hoja (AVG = 26.7). D es el método aplicado a la totalidad de los foliolos de cada hoja, mostrando valores promedio (AVG) para cada foliolo. AVG es la media de la temperatura considerada en una termografía.

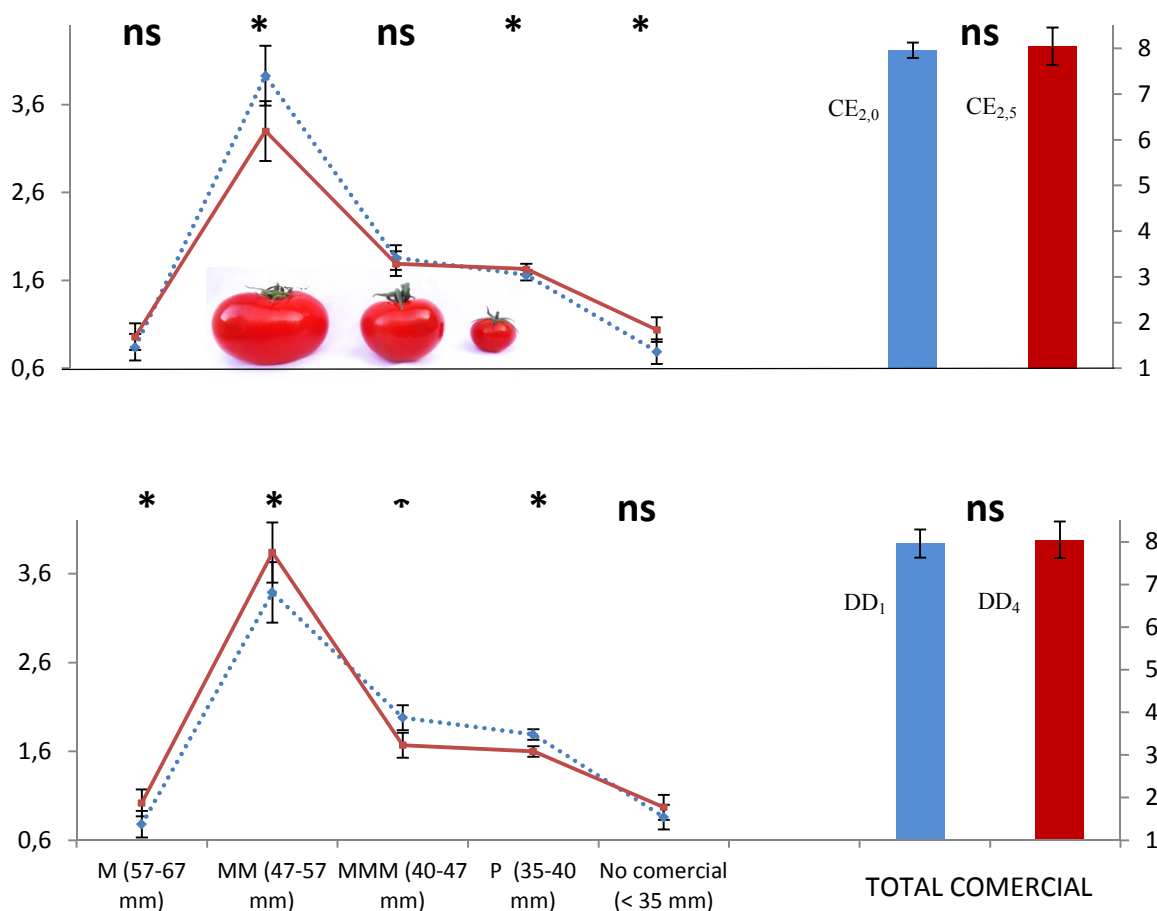


Figura 3. Efecto de la producción ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) por calibre del diámetro ecuatorial y total comercial de plantas de tomate en función de la conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) de la solución nutritiva de 2,0 ($\text{CE}_{2,0}$, línea discontinua) y 2,5 ($\text{CE}_{2,5}$, línea continua), y la distribución de la solución nutritiva con 1 (DD_1 , línea discontinua) y 4 (DD_4 , línea continua) puntos por gotero. *, ns muestran diferencias significativas en el análisis de la varianza a $P \leq 0,05$ y no significativo, respectivamente.

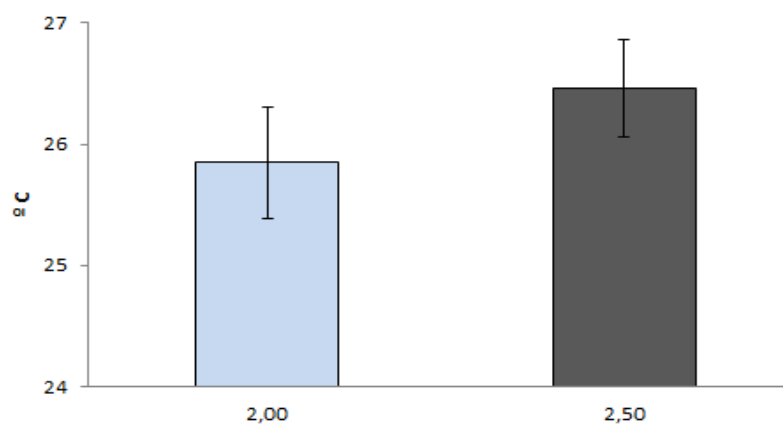


Figura 4. Temperatura media de hojas de un cultivo de tomate con tratamiento de la solución nutritiva de la CE de 2,0 y 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, respectivamente. Media de todos los folíolos de tres hojas por tratamiento. Temperaturas medias medidas por termografía de una superficie de 3 a 5 cm^2 de cada folíolo y hoja (ver figura 2).