

# EFFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL TOMATE EN CULTIVO SIN SUELO EN EL SURESTE ESPAÑOL

JUAN JOSÉ MAGÁN CAÑADAS

Estación Experimental de la Fundación Cajamar «Las Palmerillas» (Almería)

MARISA GALLARDO PINO  
RODNEY THOMPSON

Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Almería (Almería)

PILAR LORENZO MÍNGUEZ  
I.F.A.P.A. La Mojonera (Almería)

## RESUMEN

Se presentan los resultados de un estudio en el que se evaluó la respuesta a la salinidad del tomate larga vida en cultivo sin suelo en las condiciones de los invernaderos del sureste peninsular. Se realizaron dos ciclos de primavera (experimentos 1 y 2) y un ciclo largo de invierno (experimento 3), siendo los cultivares utilizados «Daniela» (experimento 1) y «Boludo» (experimentos 2 y 3). El estudio se realizó sobre plantaciones comparables a los cultivos de tomate de la zona y se trabajó en condiciones de salinidad moderada, de forma que se comparó un tratamiento control ( $2,5 \text{ dS/m}^{-1}$ ) con otros de salinidad creciente. La conductividad eléctrica (CE) máxima aplicada siempre estuvo por debajo de  $10 \text{ dS/m}^{-1}$ .

Las producciones total y comercial disminuyeron linealmente con la salinidad a partir de un valor umbral de CE ( $CE_t$ ), el cual se vio escasamente influido por las condiciones climáticas y el cultivar. Los valores medios de  $CE_t$  para la producción total y comercial fueron  $3,3$  y  $3,4/\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente. La reducción de la producción fresca de fruto con la salinidad se debió, principalmente, al descenso lineal del peso medio del fruto a razón de un 6% por cada incremento unitario de CE para los frutos comerciales, mientras que la disminución del número de frutos con la salinidad contribuyó en menor medida al descenso de la producción. La aparición de frutos con necrosis apical aumentó con la salinidad, registrándose una mayor incidencia en primavera y resultando «Boludo» más sensible que «Daniela». El incremento de la salinidad mejoró diversos aspectos de la calidad del fruto, como la proporción de frutos de categoría comercial «Extra», el contenido en sólidos solubles y la acidez valorable, pero redujo su calibre, que es un pa-

rámetro fundamental en el establecimiento del precio del tomate. De este modo, la  $CE_i$  a partir de la cual se redujo linealmente el valor económico de la producción se situó, por término medio, en  $3,5 \text{ dS/m}^{-1}$ , valor similar al umbral correspondiente a la producción fresca, a pesar de la mejora obtenida en la calidad del fruto con la salinidad.

*Palabras clave:* Cloruro sódico, conductividad eléctrica, hidropónico, sustrato.

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Almería cuenta con unas 5.000 ha de cultivos hortícolas sin suelo bajo invernadero (Pérez-Parra y Céspedes, 2001), por lo que constituye uno de los núcleos más importantes a nivel mundial en lo que a la implantación de los cultivos sin suelo se refiere. El manejo del riego en estos sistemas lleva inherente la generación de lixiviados, debido a la aplicación de riegos excedentarios a las necesidades hídricas del cultivo para evitar la acumulación de sales en el sustrato y problemas derivados de las diferencias en transpiración entre plantas y en la uniformidad del riego (van Os, 1995). En Almería, la práctica totalidad de los cultivos sin suelo se manejan como sistemas abiertos, en los que el lixiviado se desecha al medio ambiente y percola en el subsuelo. Debido a su alto impacto ambiental y a la imposición de directivas comunitarias, se prevé que en un futuro próximo estos sistemas se transformen en sistemas cerrados o recirculantes, en los que el lixiviado se mezcla con agua y fertilizantes para obtener así nueva solución nutritiva de aporte, lo que permite lograr una reducción significativa del consumo de agua y nutrientes y de la contaminación ambiental. Sin embargo, en los sistemas cerrados tiende a producirse la acumulación en la solución recirculante de aquellos iones presentes en el agua de riego a una concentración mayor que la absorbida por el cultivo (principalmente sodio y cloruros), lo que determina un progresivo aumento de la CE de dicha solución, que puede obligar a descartarla parcialmente con el fin de evitar que se afecte negativamente la productividad del cultivo.

El principal factor limitante de los sistemas cerrados en el sureste peninsular es la calidad del agua de riego. En términos generales, con aguas cuya CE supere  $1 \text{ dS/m}^{-1}$  (lo cual resulta frecuente en dicha zona) se prevén pérdidas productivas o la necesidad de descartar con frecuencia la solución. Por tanto, previo al establecimiento de estos sistemas en el sur de España, se requiere un buen conocimiento de los efectos salinos, con el fin de compatibilizar una producción y calidad óptimas con un descarte mínimo de la solución. Dada la escasez de información existente sobre el efecto salino en las condiciones de cultivo típicas de los invernaderos del sureste peninsular, en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar «Las Palmerillas» (El Ejido, Almería) se ha llevado a cabo un estudio encaminado a valorar la respuesta del tomate larga vida a la salinidad en tales condiciones.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron tres experimentos entre los años 2000 y 2003, en invernadero multicapilla con cubierta de polietileno, carente de sistemas activos de control climático, salvo ventilación natural automatizada. En la tabla adjunta se aporta información básica sobre los experimentos realizados. En todos los casos el cultivo fue tomate (*Lycopersicon es-*

*culentum*), aunque el cultivar utilizado varió dependiendo del experimento. El cultivo se realizó en contenedores de poliestireno de 28 l de volumen, rellenos de perlita gruesa (granulometría 3-6 mm) y dispuestos sobre canalones para recoger el drenaje. La solución nutritiva se recirculó en sistema semicerrado para mantener una fracción de drenaje en torno al 90% que asegurara la similitud entre la solución del sustrato y la drenada, y que amortiguara las oscilaciones en su composición como consecuencia de las variaciones climáticas entre diferentes días e incluso a lo largo del día, de forma que se facilitase el control de los tratamientos de salinidad. El agua y los nutrientes absorbidos por el cultivo eran repuestos añadiendo a la solución recirculante una solución nutritiva de refresco ajustada a las concentraciones de absorción del cultivo (Sonneveld, 2000). El resto de prácticas culturales fueron las habituales de la zona.

El número de tratamientos y el nivel de salinidad asociado a cada uno de ellos variaron en cada experimento (ver tabla adjunta). En todos ellos se comparó un tratamiento control (CE = 2,5 dS/m<sup>-1</sup>) con varios tratamientos de salinidad creciente. Se procuró que la solución nutritiva recirculante del tratamiento control tuviera la concentración más baja posible de sodio y cloruros (< 6 mmol/l<sup>-1</sup>), mientras que en el resto de tratamientos el aumento de CE se lograba mediante la adición de cloruro sódico a una solución nutritiva similar a la del control. El objetivo era conseguir que, para cada tratamiento, el valor medido de CE fuese próximo al de consigna, de forma que se mantuviese en el rango de ± 0,5 dS/m<sup>-1</sup> del valor de consigna. La solución recirculante sólo se descartaba en el caso de que su CE aumentara más de 0,5 dS/m<sup>-1</sup> por encima del valor de consigna. Los tratamientos salinos no comenzaron inmediatamente en el momento del trasplante, sino que la adición de sal fue gradual a partir de 1 ó 2 semanas desde la plantación y durante 7 a 10 días.

INFORMACIÓN BÁSICA DE LOS EXPERIMENTOS: campaña de cultivo, número de experimento (Nº exp.), fechas de plantación (Fecha plant.) y final del cultivo (Fecha final), duración del ciclo de cultivo (Dur. ciclo, días), cultivar de tomate empleado, densidad de plantación establecida (Densidad plantación, plantas m<sup>-2</sup>), número de tratamiento (Nº trat.) y conductividad eléctrica de consigna (CE, dS/m<sup>-1</sup>) de los distintos tratamientos.

Campaña	Nº exp.	Fecha plant.	Fecha final	Dur. ciclo	Cultivar	Densidad plantación	Nº trat.	CE
Primavera 2000	1	3/2/00	6/7/00	154	Daniela	2,92	1	2,5
							2	3,0
							3	4,0
							4	5,0
							5	6,0
							6	7,0
							7	8,0
Primavera 2002	2	27/12/01	28/6/02	183	Boludo	2	1	2,5
							2	3,0
							3	4,0
							4	6,0
2002/03	3	10/9/02	3/6/03	266	Boludo	2	1	2,5
							2	4,0
							3	5,5
							4	7,0
							5	8,5

Los frutos se recolectaron semanalmente, una vez habían alcanzado el color rojo. La producción se controló sobre un total de 4 repeticiones de 25 plantas cada una en el experimento 1 y 4 repeticiones de 16 plantas cada una en los experimentos 2 y 3. Para cada repetición y cosecha los frutos se separaron en producción comercial y no comercial. A su vez, la producción comercial se clasificó en 4 calibres comerciales: «MM», «M», «G» y «GG», y cada uno de ellos en 3 categorías: «Extra», «I» y «II», de acuerdo con el reglamento europeo CE 790/2000 y su posterior modificación por el reglamento CE 717/2001. La producción no comercial se clasificó según la causa origen del descarte (rajado, necrosis apical, jaspeado, fruto deforme, fruto pequeño y otros). Se determinó el peso fresco y el número de frutos recolectados correspondiente a cada clase.

Para la valoración de la calidad organoléptica de los frutos comerciales, quincenalmente se escogieron 10 frutos por cada repetición, los cuales se homogeneizaron mediante licuadora. El zumo se clarificó por decantación, midiéndose posteriormente el contenido en sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) mediante refractómetro digital (cat. No. 160, Shibuya Optical CO. LTD, Japón), el pH mediante pH-metro (HI 9024, Hanna Instruments Inc., EE.UU.) y la acidez valorable (experimentos 2 y 3) mediante valoración con solución de NaOH 0,1 N.

Finalmente se llevó a cabo un análisis económico con el fin de evaluar el efecto de la salinidad sobre el valor de la producción. Para ello se realizó una simulación de precios teóricos para cada uno de los experimentos y tratamientos salinos comparados basada en datos medios de precios mensuales de tomate de una serie histórica local. En concreto, se utilizaron precios medios mensuales por categorías y calibres correspondientes a 6 campañas agrícolas, que fueron facilitados por la cooperativa CASI, que es la principal empresa comercializadora de tomate en Almería.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestra el efecto del aumento de la CE de la solución nutritiva radicular sobre la producción de fruto comercial expresada en valores relativos a la producción máxima obtenida. La reducción de la producción con la salinidad se ajustó claramente al modelo establecido por Maas y Hoffman (1977), según el cual existe un valor umbral de CE de la solución radicular por encima del cual la cosecha disminuye linealmente. Dicho umbral se situó en torno a  $3,5 \text{ dS/m}^{-1}$  y la pendiente de descenso varió entre un 8,8% por cada incremento unitario de CE en el experimento 1 y un 11,8% en el experimento 2. El umbral apenas se vio afectado por las condiciones ambientales, mientras que la variedad elegida tuvo una ligera influencia sobre este parámetro, ya que con «Daniela» se situó en  $3,8 \text{ dS/m}^{-1}$  y con «Boludo» en torno a  $3,2 \text{ dS/m}^{-1}$ . Por lo que respecta a la pendiente de descenso, ésta se vio afectada tanto por las condiciones ambientales como por la variedad. Puede decirse que «Daniela» resultó ser una variedad más tolerante a la salinidad que «Boludo».

Analizando la relación entre la CE y cada uno de los componentes de la cosecha por separado (peso medio del fruto y número de frutos), se observa que el comportamiento de ambos fue diferente. El peso medio se redujo linealmente desde el tratamiento control a razón de un 6,0% por término medio por cada incremento unitario de CE, mientras que el número de frutos siguió un patrón similar al de la producción, con un valor umbral de CE hasta el cual se mantuvo dicho número y un descenso lineal posterior (figura 2). Se observa que «Daniela» mostró una menor reducción en el número de frutos comerciales

con el aumento de la salinidad que «Boludo», como consecuencia de la menor aparición de frutos con necrosis apical. De hecho las dos variedades de tomate utilizadas en los experimentos tuvieron un comportamiento distinto respecto a la producción de destrío. «Daniela» fue especialmente sensible al jaspeado cuando se manejó en condiciones de baja CE, mientras que «Boludo» fue sensible a la necrosis apical a alta salinidad. En términos generales se puede decir que «Daniela» mostró porcentualmente una menor producción de destrío considerando el conjunto de tratamientos.

El porcentaje de frutos con necrosis apical respecto a la producción total aumentó linealmente con la salinidad a partir de un valor umbral de CE, por debajo del cual se mantuvo constante y a niveles muy bajos (figura 3). «Boludo» mostró ser más susceptible que «Daniela», ya que presentó un umbral menor (3,5 frente a 4,8  $\text{dS/m}^{-1}$ ) y mayores pendientes de aumento del porcentaje de necrosis apical por encima del umbral. Asimismo, el aumento de la demanda evaporativa del aire determinó un incremento significativo de dicha pendiente, pues ya que para «Boludo» se obtuvo una pendiente mayor en ciclo de primavera que en ciclo largo de invierno.

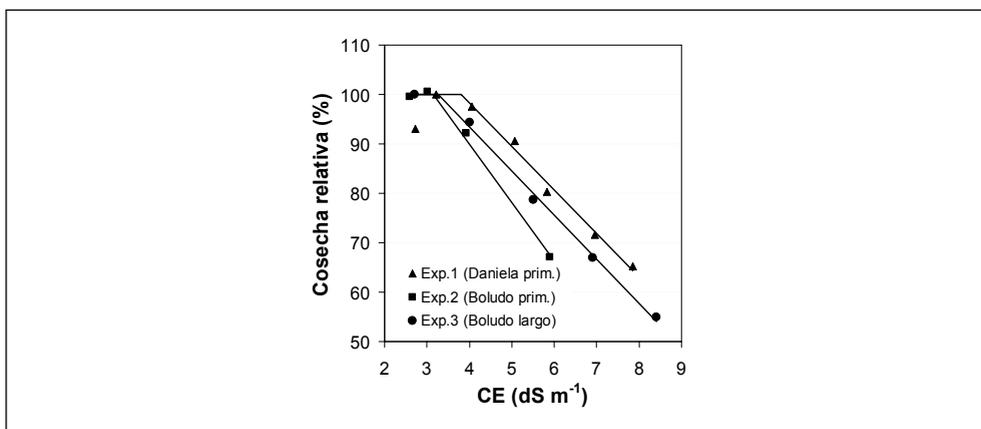
La calidad externa del fruto tendió a mejorar con la salinidad ya que ésta provocó un aumento de la proporción de frutos de categoría «Extra» (frutos de alta calidad visual) y redujo los de categoría «II» (los frutos comerciales de peor calidad) (figura 4). Por otro lado, incrementó linealmente tanto el contenido en sólidos solubles como la acidez valorable del zumo del fruto a razón de un 5,4 y un 9,1%, respectivamente, por cada incremento unitario de CE y disminuyó el pH del mismo a razón de un 0,7% (figura 5). Tan sólo dos aspectos empeoraron al incrementar la salinidad: la mayor aparición de necrosis apical y la reducción del calibre del fruto, que puede incidir de forma severa en la valoración económica del producto, perjudicando a los tratamientos salinos. De hecho, según el estudio económico realizado, los ingresos brutos percibidos por el agricultor disminuyeron linealmente a partir de una CE comprendida entre 3,1 y 3,8  $\text{dS/m}^{-1}$  dependiendo del experimento (figura 6), a pesar de la mejora obtenida en términos generales en la calidad del fruto, debido a la reducción de la producción fresca y del calibre.

Los resultados obtenidos indican que el manejo del tomate en cultivo sin suelo bajo condiciones de salinidad moderada tiende a provocar una mejora notable de la calidad del fruto, pero actualmente esto no es capaz de compensar en términos económicos la reducción obtenida en el calibre del mismo y en la producción, por lo que, mientras el mercado aprecie tanto dicho calibre y no valore en mayor medida la calidad organoléptica, resulta conveniente trabajar a una CE en torno a 3,5  $\text{dS/m}^{-1}$ . Suponiendo necesaria una CE mínima a base de macronutrientes de 2  $\text{dS/m}^{-1}$  con el fin de obtener máxima producción, el resto hasta alcanzar 3,5  $\text{dS/m}^{-1}$  podría corresponder a cloruro sódico, lo que supone unos 13  $\text{mmol/l}^{-1}$  de esta sal. Para establecer con precisión dicha acumulación, serán necesarios posteriores estudios que valoren la concentración mínima de macronutrientes necesaria para obtener máxima producción con una calidad aceptable. En cualquier caso, una concentración de cloruro sódico de 13  $\text{mmol/l}^{-1}$  en la solución recirculante determina una concentración máxima admisible de sodio y cloruros en el agua de refresco añadida al sistema cerrado para reponer el agua absorbida por el cultivo de 1,2 y 1,7  $\text{mmol/l}^{-1}$  respectivamente (Magán, 2005), valores que resultan inferiores a las concentraciones existentes de ambos elementos en la mayoría de las aguas de riego disponibles en el sureste español. Por tanto, con el fin de obtener máximos ingresos, frecuentemente sólo será posible llevar a cabo una recirculación parcial y resultará fundamental aprovechar óptimamente el agua de lluvia disponible.

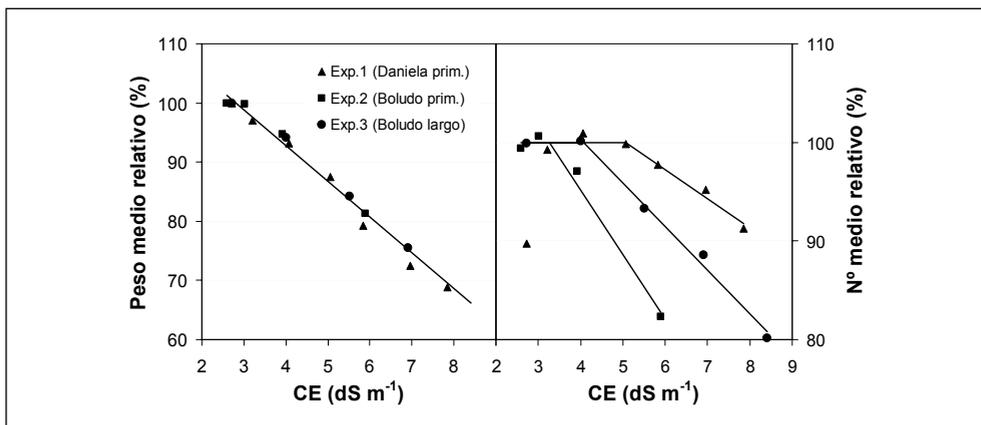
## CONCLUSIÓN

Para evitar descensos de producción, así como de los ingresos brutos percibidos, resulta conveniente no sobrepasar una conductividad eléctrica a nivel radicular de 3,5 dS/m<sup>-1</sup> en cultivo sin suelo de tomate larga vida en las condiciones de cultivo de los invernaderos de Almería.

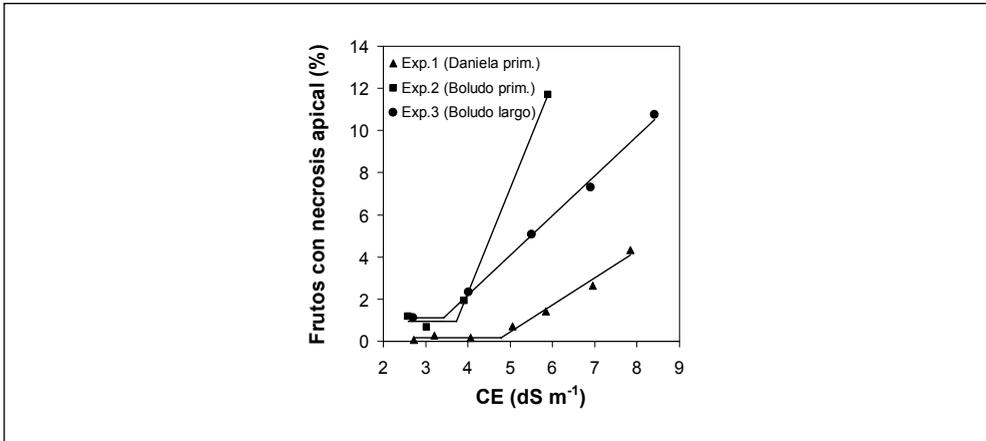
**Figura 1.** Relación entre la conductividad eléctrica de la solución de drenaje y la producción comercial acumulada expresada en valores relativos a la producción máxima en cada uno de los experimentos



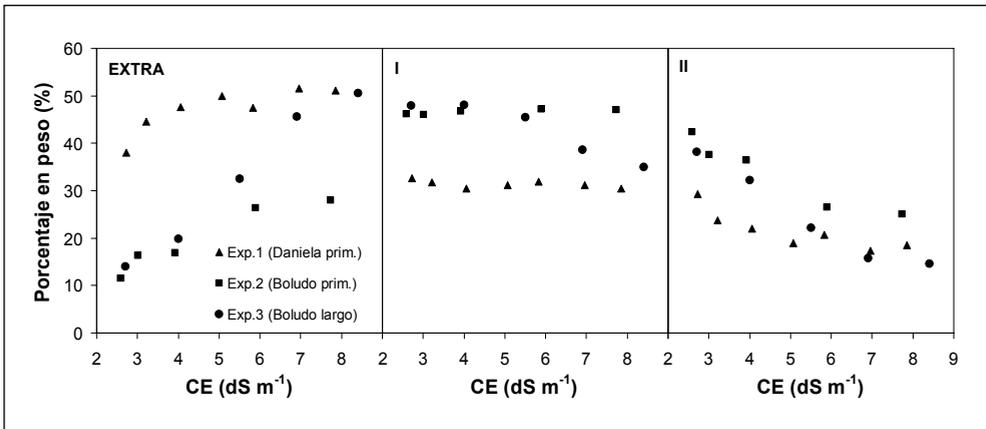
**Figura 2.** Relación entre la conductividad eléctrica de la solución de drenaje y el peso medio y el número medio de frutos comerciales expresados en valores relativos al máximo en cada uno de los experimentos



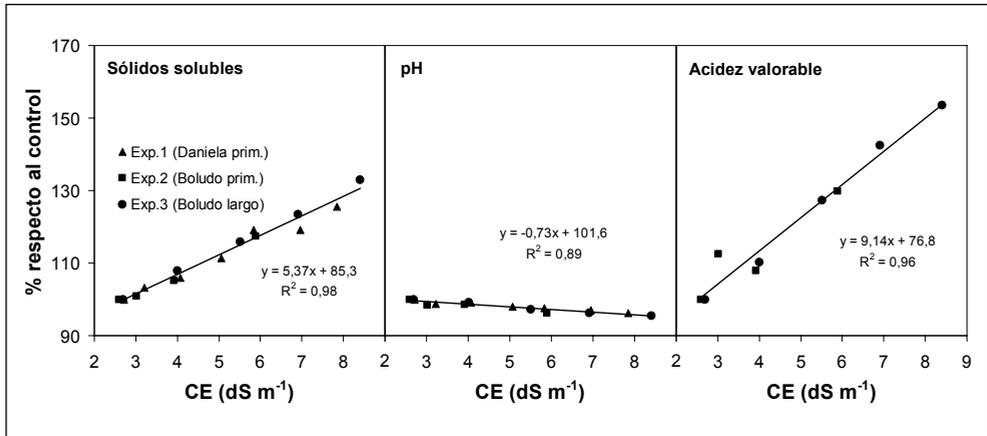
**Figura 3.** Relación entre la conductividad eléctrica de la solución de drenaje y el porcentaje en peso de frutos con necrosis apical respecto a la producción total en cada uno de los experimentos



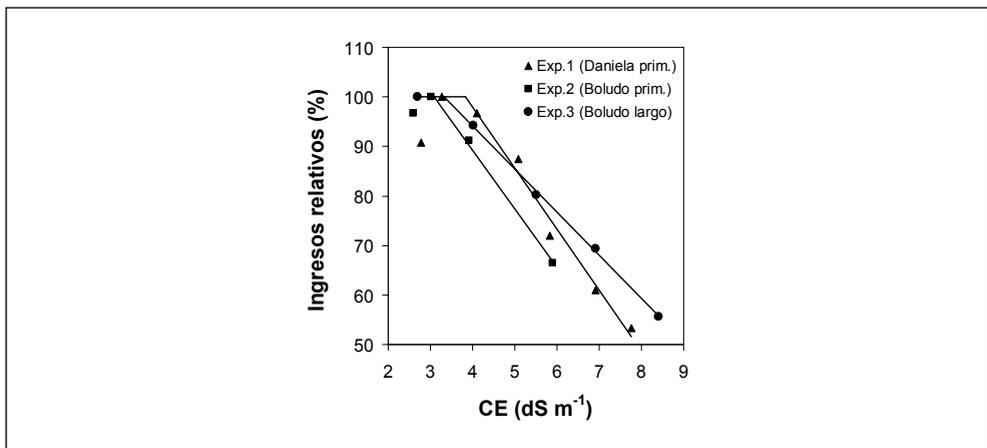
**Figura 4.** Relación entre la conductividad eléctrica de la solución de drenaje y el porcentaje en peso respecto a la producción comercial de las distintas categorías comerciales en cada uno de los experimentos



**Figura 5.** Relación entre la conductividad eléctrica de la solución de drenaje y el contenido en sólidos solubles, el pH y la acidez valorable del zumo del fruto expresados en valores relativos al tratamiento control



**Figura 6.** Relación entre la conductividad eléctrica de la solución de drenaje y los ingresos brutos obtenidos expresados en valores relativos a los ingresos máximos en cada uno de los experimentos



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MAAS, E.V. y HOFFMAN, G.J. 1977. Crop salt tolerante-Current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 103(IR2): 115-134.
- MAGÁN, J.J. 2005. Respuesta a la salinidad del tomate larga vida en cultivo sin suelo recirculante en el sureste español. Tesis doctoral. Universidad de Almería. 171 pp.
- PÉREZ-PARRA, J.J. y CÉSPEDES, A.J. 2001. Análisis de la demanda de inputs para la producción en el sector de cultivos protegidos de Almería. En: Estudio de la demanda de inputs auxiliares: producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense. Cuadrado, I.M. (Ed.). Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Almería: 1-102.
- SONNEVELD, C. 2000. Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen. 151 pp.
- VAN OS, E.A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. *Acta Horticulturae*, 396: 25-32.