

estación experimental



SEGUIMIENTO ANALÍTICO DE UN CULTIVO DE TOMATE EN SUSTRATO: REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO VS SOLUCIÓN PERDIDA

MAGÁN CAÑADAS, J. J.

D. MECA

N. MORENO

E. CASAS

XXI Congreso Nacional de Riegos.
Merida, 6 al 8 de mayo de 2003
Resumen. Pág. 75-76

Riegos y drenajes XXI. Año XIX.
Especial Almería. Pág. 50-56

SEGUIMIENTO ANALÍTICO DE UN CULTIVO DE TOMATE EN SUSTRATO: REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO vs SOLUCIÓN PERDIDA

*Magán Cañadas, J.J. (P); Meca Abad, D.; Moreno Anega, N.; Casas Barba, E.
Estación Experimental Las Palmerillas de Cajamar, El Ejido (Almería)*

Resumen

Durante la campaña de primavera 2000 se compararon dos sistemas de cultivo sin suelo, uno a solución perdida y otro con reutilización del lixiviado. El ensayo se llevó a cabo en un cultivo de tomate larga vida, realizándose el seguimiento analítico de las soluciones nutritivas de aporte y sustrato en ambos tratamientos durante todo el ciclo, y controlándose tanto la producción como el gasto global de agua.

El sistema cerrado mostró mayor tendencia hacia la salinización, especialmente por acumulación de magnesio y sodio, debido a su presencia excedentaria en el agua de riego. Ello impidió la recirculación total del lixiviado durante el ciclo completo y obligó a realizar un descarte a mitad del cultivo. Asimismo, la reutilización del lixiviado provocó un mayor desequilibrio de la solución nutritiva, por lo que se decidió reajustarla quincenalmente para evitar posibles pérdidas productivas. No obstante, la técnica de reuso no influyó negativamente sobre la producción final del cultivo, pues las diferencias entre tratamientos no fueron significativas, y sí redujo el gasto hídrico en un 22,9 %.

1. Introducción. Objetivos

La reutilización del lixiviado en cultivo sin suelo es una técnica de gran interés que ya resulta obligatoria por razones ambientales en algunos países del norte de Europa, como es el caso de Holanda (Os, 1998). De este modo, parece previsible que, a medio plazo, termine implantándose en la zona mediterránea, aunque aquí las condiciones existentes, especialmente en lo que a calidad del agua se refiere, sean más limitantes para el desarrollo de la técnica.

El estudio de la gestión práctica de los sistemas cerrados es un aspecto importante previo a su introducción en explotaciones comerciales. Aunque existen autores que consideran como suficiente el control de la conductividad eléctrica y el pH para el seguimiento del cultivo (Cooper, 1977; Pardossi y col., 1987), otros apuntan que no lo es cuando se trabaja con soluciones recirculantes con el fin de obtener óptimos resultados (Zekki y col., 1996), y que es necesario un control analítico de la solución muy frecuente (Willumsen, 1983).

Con el propósito de aportar información sobre la viabilidad técnica y la gestión práctica de los sistemas cerrados en el sureste peninsular, se han desarrollado diversos trabajos al respecto en la Estación Experimental Las Palmerillas de Cajamar. En la presente comunicación se incluyen algunos resultados obtenidos en un ensayo comparativo entre un sistema a solución perdida y otro con reutilización del lixiviado en cultivo de tomate.

2. Materiales y métodos

El ensayo fue realizado en la Estación Experimental Las Palmerillas de Cajamar (El Ejido, Almería) en un invernadero multitúnel con cubierta de polietileno y clima pasivo. El sustrato empleado fue lana de roca de segundo año y fibra horizontal de dimensiones 100 x 15 x 10 cm. El cultivo fue tomate (*Lycopersicon esculentum* 'Daniela'), el cual se trasplantó el 3/2/00 a una densidad de 2,92 plantas m⁻² y se mantuvo hasta el 3/7/00. El agua empleada en el riego tenía una conductividad eléctrica (CE) de 0,4 dS m⁻¹ y su composición iónica queda reflejada en la tabla 1. El riego se controló automáticamente mediante una bandeja de demanda independiente para cada tratamiento.

Los dos tratamientos comparados fueron los siguientes:

Tratamiento 1 (T1): Sistema a solución perdida. En este tratamiento el drenaje producido tras el riego se desechaba, de forma que no era reutilizado en la formulación de nueva solución nutritiva. El porcentaje de lixiviación se mantuvo en torno a un 25 % y la fertilización trató de ajustarse a las indicaciones dadas por Cánovas (1995).

Tratamiento 2 (T2): Sistema con reutilización del lixiviado. A diferencia del tratamiento anterior, el drenaje recuperado se mezclaba con agua de refresco para reponer el consumo efectuado por el cultivo y posteriormente se completaba la solución nutritiva mediante la adición de fertilizantes a través de un sistema de inyección por efecto Venturi. La mezcla del lixiviado con el agua de refresco se realizaba en un tanque al que se vertía el drenaje y en el que existía una boya que permitía la entrada de agua para mantener el nivel. Para la recogida del drenaje se utilizaron bandejas metálicas sobre las que se dispuso el sustrato. El lixiviado no se sometió a ningún tipo de desinfección antes de ser reutilizado, a pesar de lo cual no se observó ningún problema fitopatológico de importancia.

En el T2 se mantuvo un porcentaje de lixiviación mayor que en el T1 (entre el 30 y el 50 %) con el fin de evitar que se produjesen acumulaciones salinas localizadas en el sustrato, teniendo en cuenta la mayor tendencia a la salinización que muestran los sistemas de cultivo cerrados respecto a los abiertos (García-Lozano y Urrestarazu, 1999). Asimismo, en el sistema cerrado se trató de obtener una solución nutritiva final semejante a la de un sistema abierto, intentando a su vez que el aporte de nutrientes al sistema determinado por los fertilizantes y el agua de refresco, se ajustase lo mejor posible a los coeficientes de absorción del cultivo (ratio entre la cantidad absorbida de un ion y la de agua) con el fin de mantener la composición de la solución (Magán, 1999).

Quincenalmente se analizaban las soluciones de aporte y de sustrato en cada uno de los tratamientos para seguir su evolución. Ésta última se obtenía succionando con una jeringa, que se pinchaba próxima al taco de trasplante para conseguir muestra de la zona con mayor concentración radicular, después de que el cultivo hubiera drenado por la mañana y, al menos, media hora después del riego. Inicialmente se intentó manejar el cultivo reajustando las soluciones de aporte cada 4 semanas sobre la base de los análisis efectuados en ese momento, pero tras 10 semanas de cultivo se produjo un fuerte desajuste en el sistema cerrado que aconsejó reajustar la solución cada 15 días desde ese instante hasta el final del cultivo para evitar pérdidas productivas.

El control de la producción del cultivo se realizó estableciendo un diseño estadístico de bloques al azar con 2 bloques x 2 tratamientos x 2 repeticiones. Los datos de producción final se sometieron a análisis de la varianza para un nivel de

confianza del 95 % (diferencias significativas para $p < 0,05$). El gasto hídrico se controló globalmente para cada tratamiento.

3. Resultados y discusión

La evolución de la concentración del ion magnesio en las soluciones de aporte y sustrato queda reflejada en la figura 1. Durante los primeros 60 días de cultivo, que correspondieron a la etapa de mayor desarrollo vegetativo, se decidió realizar un aporte suplementario de magnesio mediante fertilizantes en el T1 para conseguir su acumulación en la solución del sustrato hasta 3-4 mmol L⁻¹. Sin embargo, posteriormente se ralentizó el crecimiento debido al cuajado de frutos, y a su vez se redujo el coeficiente de absorción de magnesio, por lo que dicho elemento tendió a acumularse excesivamente en el sustrato (por encima de 5 mmol L⁻¹). Ante ello, se decidió no incorporar fertilizantes magnésicos a la solución de aporte, lo que permitió recuperar una concentración en sustrato aceptable hasta el final del cultivo.

Frente a ello, en el T2 se decidió no incorporar fertilizantes magnésicos durante todo el ciclo, a pesar de lo cual este elemento tendió a acumularse, especialmente a partir de 60 días después del trasplante (d.d.t.). Tan sólo fue posible reducir la concentración de magnesio mediante el descarte de solución recirculante realizado a los 109 d.d.t.. Resulta evidente que la concentración de magnesio existente en el agua de riego (1,26 mmol L⁻¹) fue mayor que el coeficiente de absorción del cultivo para este elemento, lo cual está en consonancia con el aporte de magnesio recomendado para tomate en sistema cerrado por la Estación de Investigación para Floricultura y Hortalizas de Invernadero de Naalkwijk, que es de 1 mmol L⁻¹ (Kreij y col., 1999).

En contraposición al magnesio, el calcio fue un nutriente claramente deficiente en el agua de riego y su aporte tuvo que ser completado mediante la adición de nitrato cálcico. En el T1 este aporte fue mayor durante la fase de crecimiento activo (figura 2), ya que posteriormente tendió a acumularse en la solución del sustrato debido a su menor absorción, lo que llevó a reducir la concentración de aporte para evitar niveles excesivamente altos en la zona radicular. En cuanto al T2, durante la fase de máxima carga de fruto (a partir de 60 d.d.t.) se trató de incentivar la acumulación de calcio en la solución recirculante con el fin de contrarrestar la acumulación de magnesio y mantener una relación Ca/Mg de 2-2,5 en la solución radicular, que es la que se considera óptima en cultivo de tomate (Kreij y col., 1999). Sin embargo, la alta concentración de nitratos alcanzada por la adición de nitrato cálcico (figura 5) obligó finalmente a reducir el aporte de calcio, lo que condujo a una brusca caída de la relación Ca/Mg (figura 3). Dado que una relación inferior a 1 puede reducir la productividad del cultivo (Key y col., 1962), a los 109 d.d.t. se decidió renovar la solución recirculante, lo que permitió mejorar dicha relación, aunque sin llegar a ser óptima.

A pesar de la buena calidad del agua empleada y su bajo contenido en sodio (0,64 mmol L⁻¹), este ion tendió a acumularse progresivamente en el sistema cerrado hasta alcanzar una concentración en el sustrato en torno a 10 mmol L⁻¹ (figura 4), valor que puede ser tolerado aceptablemente por el tomate (Attenburrow y Waller, 1980; Sonneveld y van der Burg, 1991). Por tanto, el coeficiente de absorción de sodio mostrado por el cultivo a la concentración máxima alcanzada, se situó aproximadamente en el valor de concentración de sodio en el agua de riego, lo cual está en consonancia con los coeficientes indicados por Sonneveld y van der Burg (1991) para tomate. En el tratamiento a solución perdida la concentración de sodio fue siempre menor que en el sistema recirculante, a excepción de la fase inicial, no suponiendo limitación alguna para el normal desarrollo del cultivo.

En cuanto a los nitratos (figura 5), las concentraciones mantenidas en la zona radicular en ambos tratamientos fueron muy elevadas, a excepción de la fase inicial, lo cual está en consonancia con los datos obtenidos por García-Lozano y Urrestarazu (1999) comparando igualmente sistemas abierto y cerrado en cultivo de tomate. En el tratamiento recirculante esta alta concentración tuvo su origen en el aporte de nitrato cálcico con el fin de mantener un nivel aceptable de calcio, mientras que en el sistema a solución perdida se produjo a pesar de mantener una concentración normal de nitratos en la solución de aporte (en torno a 12 mmol L^{-1}).

Los iones fosfato y potasio fueron los que más se desajustaron en el sistema cerrado respecto al abierto (figuras 6 y 7), y fue la baja concentración de los mismos alcanzada en el tratamiento recirculante a los 74 d.d.t. lo que aconsejó revisar los análisis quincenalmente en vez de mensualmente como se estaba haciendo hasta ese momento, con el fin de evitar repercusiones en la producción del cultivo. Dado que estos iones no son aportados prácticamente por el agua de riego y su incorporación tiene que hacerse mediante fertilizantes, son más susceptibles de sufrir oscilaciones importantes en la solución recirculante, siendo conveniente realizar un seguimiento analítico frecuente de los mismos para evitar situaciones de carencia. Esto está en consonancia con los resultados obtenidos por Alt (1980) para el caso del potasio.

Finalmente, la conductividad eléctrica fue mayor en la zona radicular en el sistema cerrado que en el abierto (figura 8), a excepción de la fase inicial en la que la acumulación de iones en el tratamiento recirculante fue escasa debido a la alta tasa de absorción de nutrientes como consecuencia del fuerte desarrollo vegetativo, y tras el descarte de la solución recirculante. Esta mayor CE máxima en el sistema cerrado fue debida a la acumulación de los iones excedentarios en el agua de riego (magnesio y sodio básicamente) y siempre tiende a producirse cuando se comparan sistemas abiertos y cerrados (Molitor y Fischer, 1988; García-Lozano y Urrestarazu, 1999). No obstante, la CE en la solución recirculante se mantuvo en niveles aceptables, puesto que el umbral salino para el cultivar de tomate Daniela en cultivo de primavera en las condiciones de los invernaderos del sureste peninsular se establece en $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ (Magán y col., 2001). De hecho, al final del cultivo no se registraron diferencias significativas de producción entre tratamientos (tabla 2), lo cual está en consonancia con los resultados obtenidos en otras investigaciones que comparaban sistemas abiertos y cerrados (Molitor y Fischer, 1988; Raviv y col., 1995; Uronen, 1995). En cambio, el gasto de agua fue de 455 mm en el sistema cerrado frente a 590 mm en el abierto, por lo que el ahorro hídrico fue de un 22,9 %.

4. Conclusiones

La reutilización íntegra de los lixiviados en cultivo sin suelo no parece ser una técnica sostenible a largo plazo en las condiciones del sureste peninsular debido a la progresiva acumulación de los iones presentes en exceso en el agua de riego, incluso utilizando aguas de buena calidad agronómica como la del presente ensayo. Sin embargo, el descarte puntual de solución recirculante con el fin de no sobrepasar los límites de tolerancia del cultivo, da origen a un sistema semicerrado (que es lo que realmente se ha establecido en el ensayo) que resulta de gran interés, pues permite un ahorro notable de agua respecto a un sistema abierto sin que se produzcan pérdidas productivas.

Por otro lado, la reutilización del drenaje origina un mayor desequilibrio de la solución nutritiva, debido a la dificultad de ajustar el aporte de fertilizantes a las absorciones de nutrientes efectuadas por el cultivo. Por tanto, mientras no se disponga de electrodos selectivos para la monitorización de las concentraciones de los diferentes iones, será necesario un seguimiento analítico mucho más frecuente que el

que se efectúa en los sistemas a solución perdida. A la vista de los resultados obtenidos este seguimiento debería ser quincenal.

La integración en explotaciones comerciales del sureste español de los sistemas de reúso requeriría investigar los límites de tolerancia a la salinidad de los diferentes cultivos en las condiciones locales, y dar una salida aceptable a las soluciones de descarte, de forma que no constituyan un elemento contaminante.

5. Referencias

- Alt, D. 1980. Changes in the composition of the nutrient solution during plant growth-an important factor in soilless culture. ISOSC Proceedings: 97-109.
- Attenburrow, D.C.; Waller, P.L. 1980. Sodium chloride: its effect on nutrient uptake and crop yields with tomatoes in NFT. *Acta Horticulturae*, 98: 229-236.
- Cánovas, F. 1995. Manejo del cultivo sin suelo. En: *El cultivo del tomate* (F. Nuez). Ed. Mundi-Prensa: 227-254.
- Cooper, A. 1977. Nutrient control of a nutrient-film tomato crop. *Scientia Horticulturae*, 7: 189-195.
- García-Lozano, M.; Urrestarazu, M. 1999. *Recirculación de la disolución nutritiva en las condiciones de los invernaderos de la Europa del Sur*. Editado por Caja Rural de Granada. 171 pp.
- Key, J.L.; Kurtz, L.T.; Tucker, B.B. 1962. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. *Soil Science*, 93: 265-270.
- Kreij, C. De; Voogt, W.; Baas, R. 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Ed. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables. Naalkwijk, Holanda. Brochure 196.
- Magán, J.J. 1999. Sistemas de cultivo en sustrato: a solución perdida y con recirculación del lixiviado. En: *Cultivos sin suelo II. Curso Superior de Especialización* (M. Fernández e I.M. Cuadrado). Ed. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, FIAPA y Caja Rural de Almería: 173-205.
- Magán, J.J.; Moreno, N.; Meca, D.; Cánovas, F. 2001. Response to salinity of a tomato crop in Mediterranean climate conditions. *International Symposium on Hydroponics and Growing Media*, 8-14 Septiembre de 2001, Alnarp, Suecia.
- Molitor, H.D.; Fischer, M. 1988. *Stock plant cultivation in rockwool with and without recycling the nutrient solution*. ISOSC Proceedings: 323-333.
- Os, E.A. van. 1998. Closed soilless growing systems in the Netherlands: the finishing touch. *Acta Horticulturae*, 458: 279-291.
- Pardossi, A.; Tognoni, F.; Bertero, G. 1987. The influence of nutrient solution concentration on growth, mineral uptake and yield of tomato plants grown in NFT. *Avances in Horticultural Science*, 1: 55-60.
- Raviv, M.; Reuveni, R.; Krasnovsky, A.; Medina, Sh. 1995. *Recirculation of rose drainage water under semi-arid conditions*. *Acta Horticulturae*, 401: 427-433.

Sonneveld, C.; van der Burg, A.M.M. 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 39: 115-122.

Uronen, K.R. 1995. *Leaching of nutrients and yield of tomato in peat and rockwool with open and closed system*. *Acta Horticulturae*, 401: 443-449.

Willumsen, J. 1983. A comparison of hydroponic systems for tomatoes. *Acta Horticulturae*, 150: 421-428.

Zekki, H.; Gauthier, L.; Gosselin, A. 1996. Growth, productivity and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes with or without nutrient solution recycling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 121: 1082-1088.

Tablas

Tabla 1. Composición del agua de riego empleada en el ensayo en meq L⁻¹.

SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0,48	3,26	0,57	0,12	1,16	2,52	0,64

Tabla 2. Efecto de la reutilización del lixiviado en tomate sobre la producción total y comercial en el ciclo de cultivo en g m². Letras iguales dentro de la misma columna indican la no-existencia de diferencias significativas entre tratamientos según el análisis de la varianza, nivel 5 %.

Tratamiento	Producción total	Producción comercial
T1: solución perdida	18131 a	15765 a
T2: reutilización del lixiviado	17665 a	15515 a

Figuras

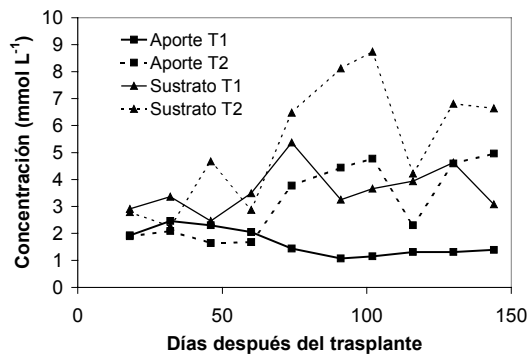


Figura 1. Evolución de la concentración de magnesio en las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.

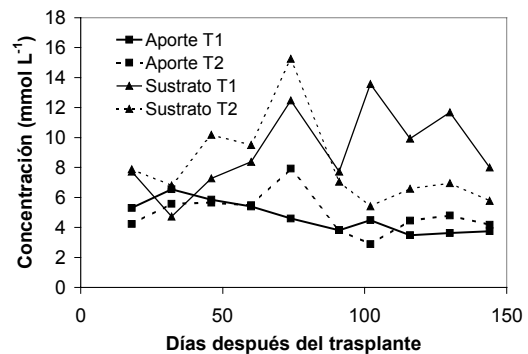


Figura 2. Evolución de la concentración de calcio en las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.

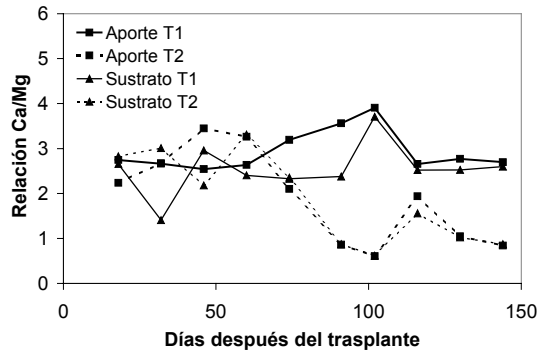


Figura 3. Evolución de la relación Ca/Mg en las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.

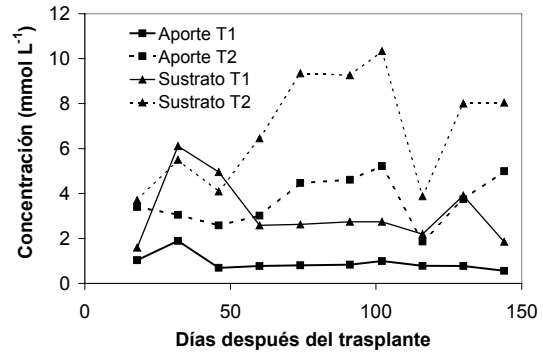


Figura 4. Evolución de la concentración de sodio en las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.

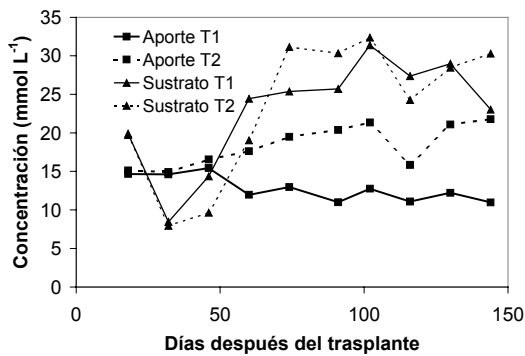


Figura 5. Evolución de la concentración de nitratos en las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.

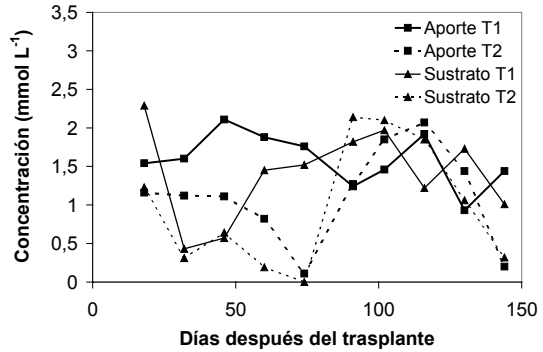


Figura 6. Evolución de la concentración de fosfatos en las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.

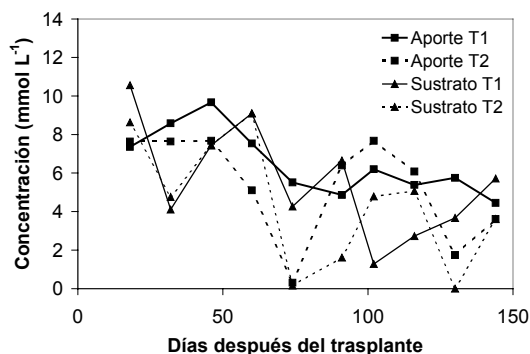


Figura 7. Evolución de la concentración de potasio en las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.

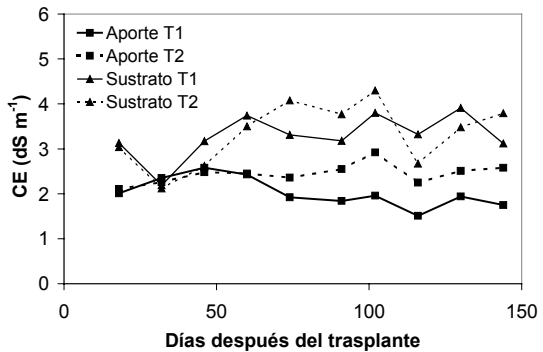


Figura 8. Evolución de la conductividad eléctrica de las soluciones de aporte y sustrato a lo largo del ciclo de cultivo.